

第4章 実証試験とその評価

1 電波伝搬特性試験

(1) 試験項目

特性試験項目

(ア)電界強度

(イ)RSSI₁₎値

(ウ)単位時間あたりのパケット損失

試験パラメータ

(ア)親機の高さ

・地上高 45cm (児童の腰の高さとして子機間中継時を想定)

・地上高 135cm (大人の胸、校門の高さの置いた中継機を想定)

(イ)子機の高さ及び方向パターン

・人物(地上高約 45cm)での値(前面、半身、裏面)

・台(地上高約 45cm)での値

(2) 試験環境

試験場所・月日

屋外の電波の反射、他電波干渉等の少ない場所での試験を計画し、次の両日に試験を実施した。

2006年8月9日 波佐谷小学校運動場

2006年10月13日 金沢テクノパーク運動場

天候

地面の特性を同一にするため、雨天でないときに実施した。

試験機

クロスボー株式会社 Mote MICAz MPR2400J 2.4GHz

IEEE802.15.4 準拠、ZigBee®版 日本国内技適²⁾

試験機は、定格出力(1mW:0dBm)とし、1秒ごとに情報(パケット)発信した。

¹⁾ RSSI (Received Signal Strength Indicator): 「受信信号強度」であり、受信機に入る受信信号の強度を示す数値で、受信した受信機入力電圧の対数値とほぼ比例した値を生成し、RSSI 値として出力している。

²⁾ 電波法令で定めている技術基準に適合している無線機であることを証明するもの。適合しているものには、「技適マーク」が付けられる。

測定器

(A)電界強度：アンリツ MS2711B ハンドヘルドスペクトラムアナライザ

<仕様>

周波数範囲：100kHz～3.0GHz

周波数スパン：100kHz～3GHz 及びゼロスパン

掃引時間：6500ms フルスパン;510ms ゼロスパン

分解能帯域幅：10kHz/30kHz/100kHz/1MHz

ビデオ帯域幅：100Hz～300kHz (1-3 シーケンス)

振幅測定範囲：+20dBm～表示平均ノイズレベル

表示平均ノイズレベル：-115dBm

(1MHz、プリアンプオン時代表値)

-95dBm

(500kHz、プリアンプオフ時代表

値)

(I)アンテナ：ELECTRO-METRICS 社 EM-6961

RIDGED GUIDE ANTENNA

アンテナ特性利得があるため、実測値から約7.75dBmの補正減を行った。

(U)RSSI：試験機による通信状態をモニターソフトウェアである XSniffer (クロスボー株式会社) により測定

(I)パケット数：試験機による通信状態をモニターソフトウェアである MoteView (クロスボー株式会社) により測定

(3) 試験イメージ

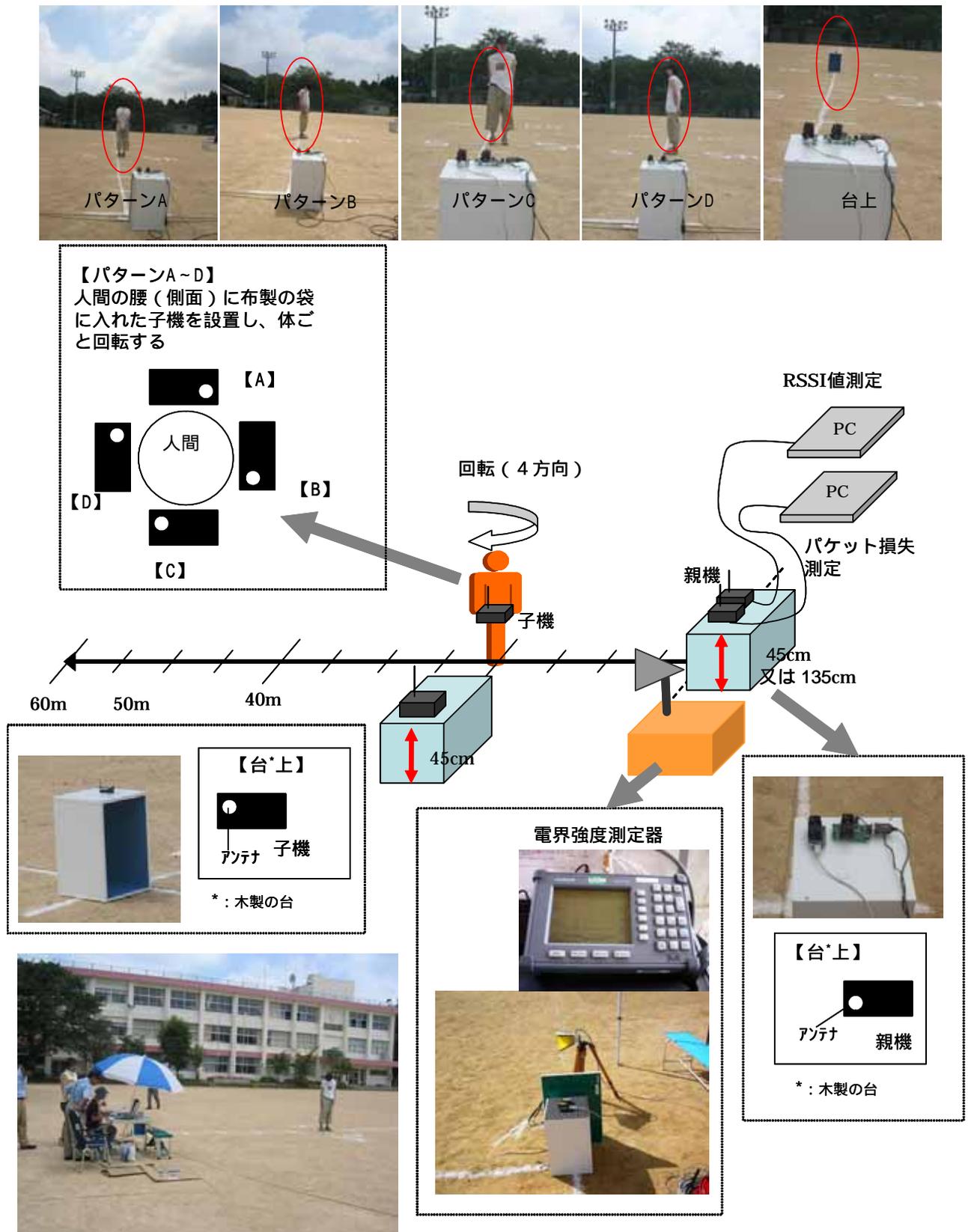


図 4.1-1 電波伝搬特性試験イメージ

(4) 試験結果

電界強度特性

(7) 試験特性結果

親機の高さを 45cm、135cm とした距離特性を RSSI 値も合わせて図 4.1-2 ~ 図 4.1-4 に示す。

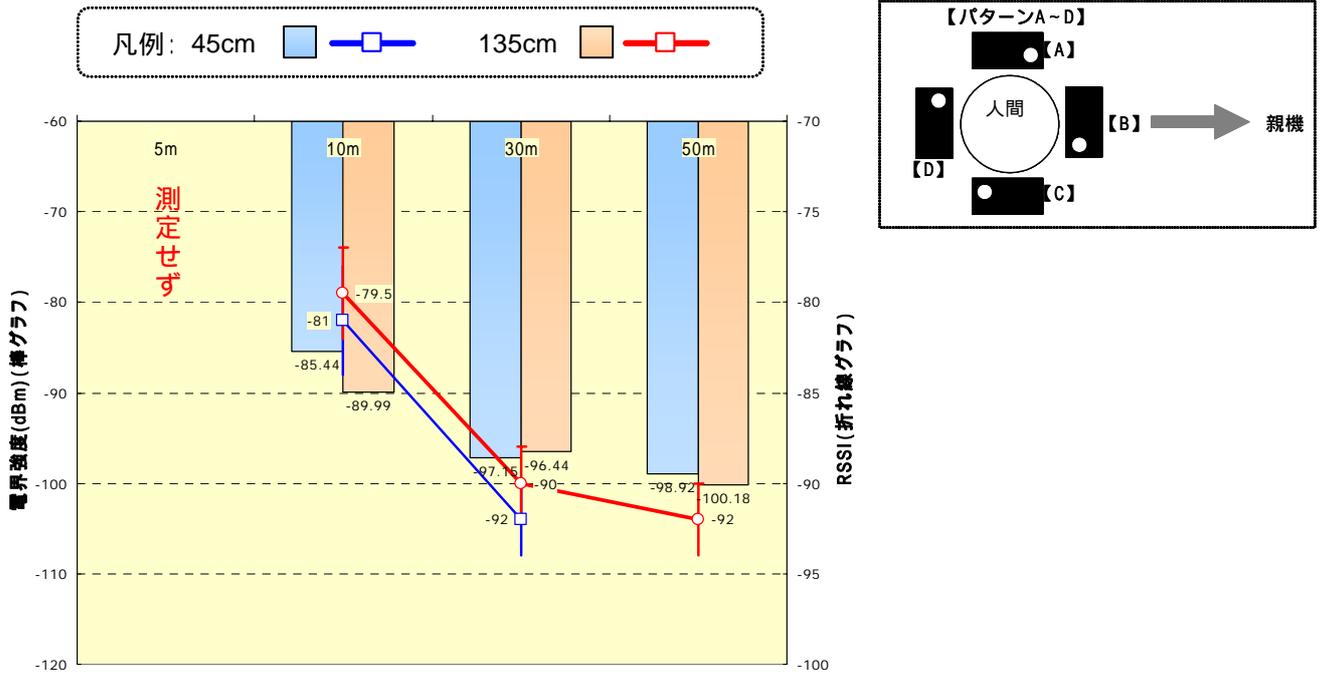


図 4.1-2 台上 RSSI・電界強度特性

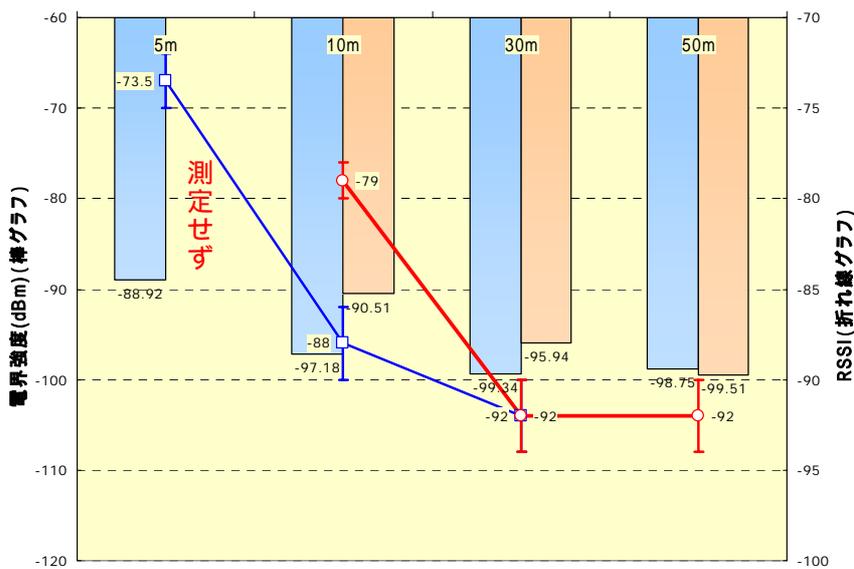


図 4.1-3 パターン B RSSI・電界強度特性

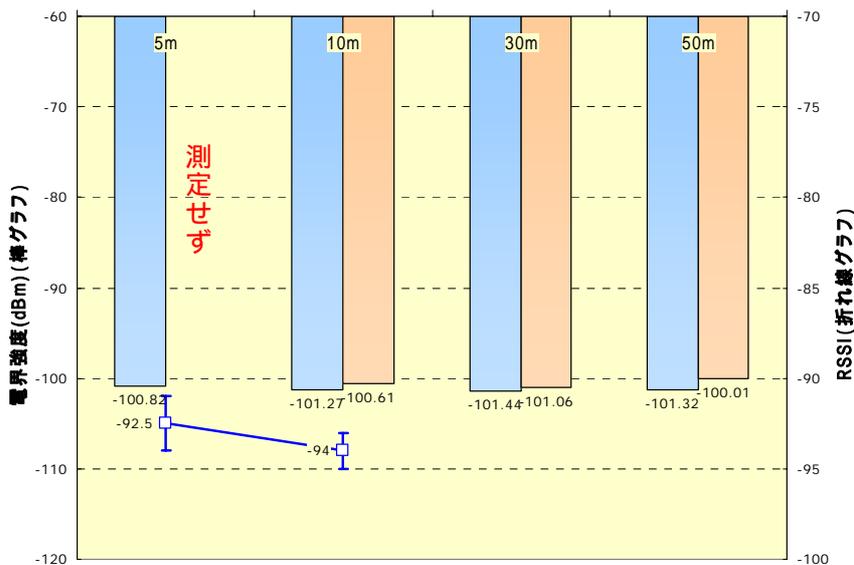


図 4.1-4 パターン D RSSI・電界強度特性

(1)分析・評価

各パターンにおける距離別の特性を見ると、以下のとおりである。

- ・台上、パターン B の特性から、親機の高さが高くなると、電界強度が大きくなる。
- ・台上、パターン B の特性から、5m～30m では電界強度の低下が大きく、それをすぎると横ばい状態で、-100dBm を超えると、RSSI 値の測定が困難となった。
- ・パターン D の特性から、5m でも-100dBm の電界強度となり、RSSI 値の測定が不安定で通信困難となった。

パターン別距離特性

(7) 試験特性結果

親機の高さを 45cm、135cm とした試験パラメータにおける距離特性を、図 4.1-5～図 4.1-9 に示す。

なお、パケット数については、毎秒パケット送信を行い、100 秒間の測定結果をログにて集計した。この測定において、試験機のリンクレベルの再送機能により、本来データパケット 100 受信が正確な送受信であるが、その中において受信ができなかった場合に再送が実行される。この再送が 1 データパケットに対して複数の再送パケットが送信（最大 6 回）されることがあるため、

$$\text{パケット数} = \text{データパケット数} + \text{再送パケット数}$$

でカウントされることから、100 を超えているものも発生した³⁾。

³⁾ 附属資料 6 「パケット調査試験」参照

凡例: ■ — □ : 45cm ■ — □ : 135cm
 パケット数には再送を含む(付属資料6「パケット調査試験」参照)

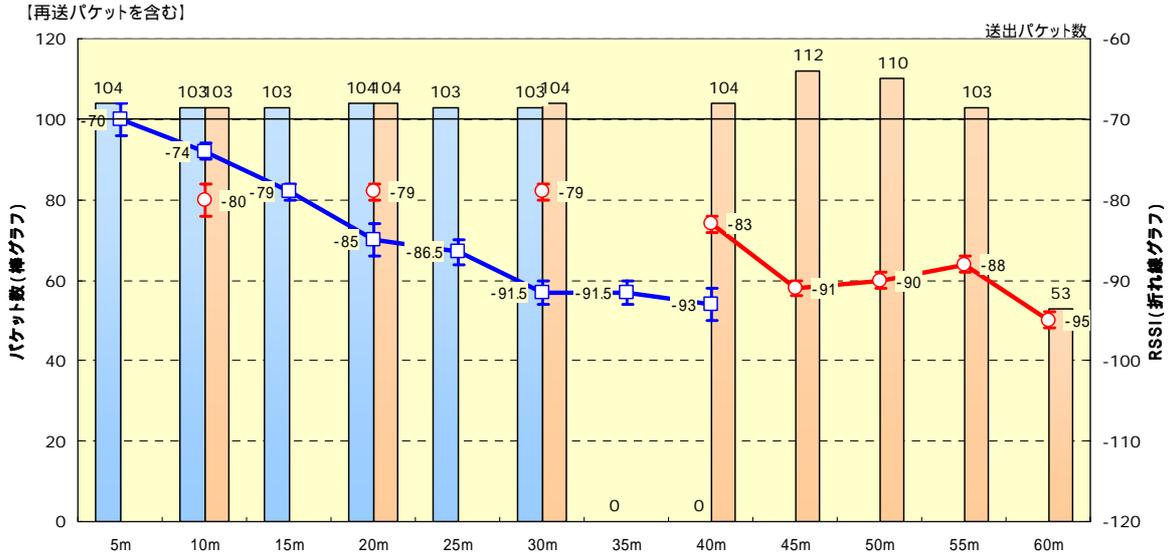
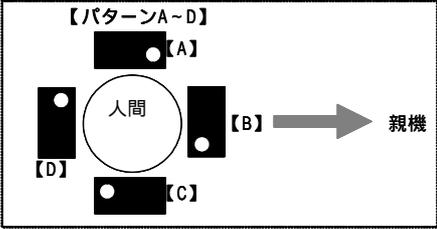


図 4.1-5 台上パターン距離特性

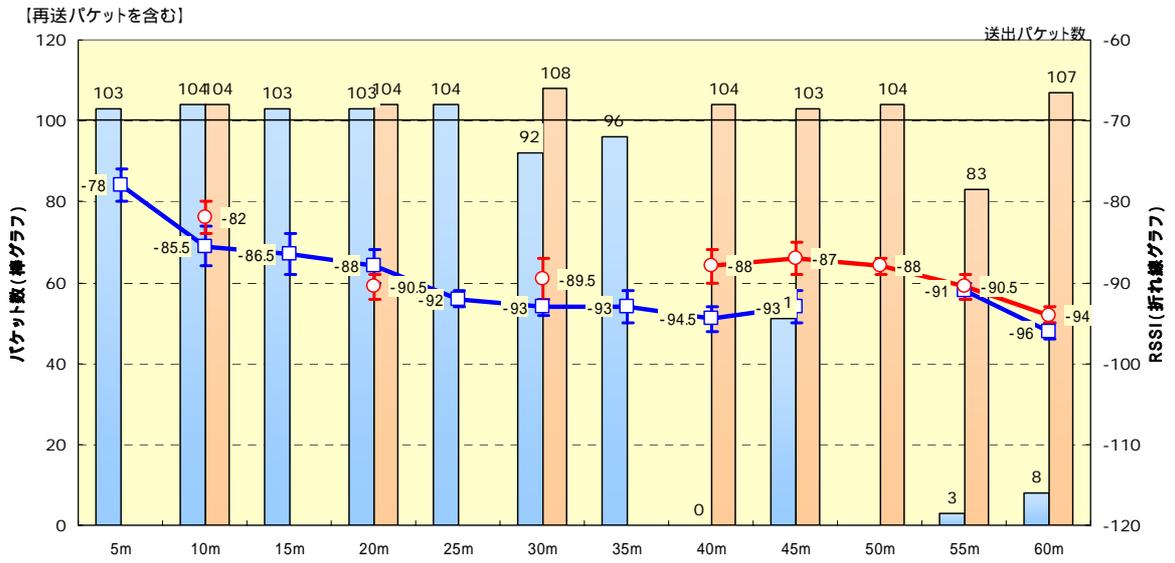


図 4.1-6 パターン A 距離特性

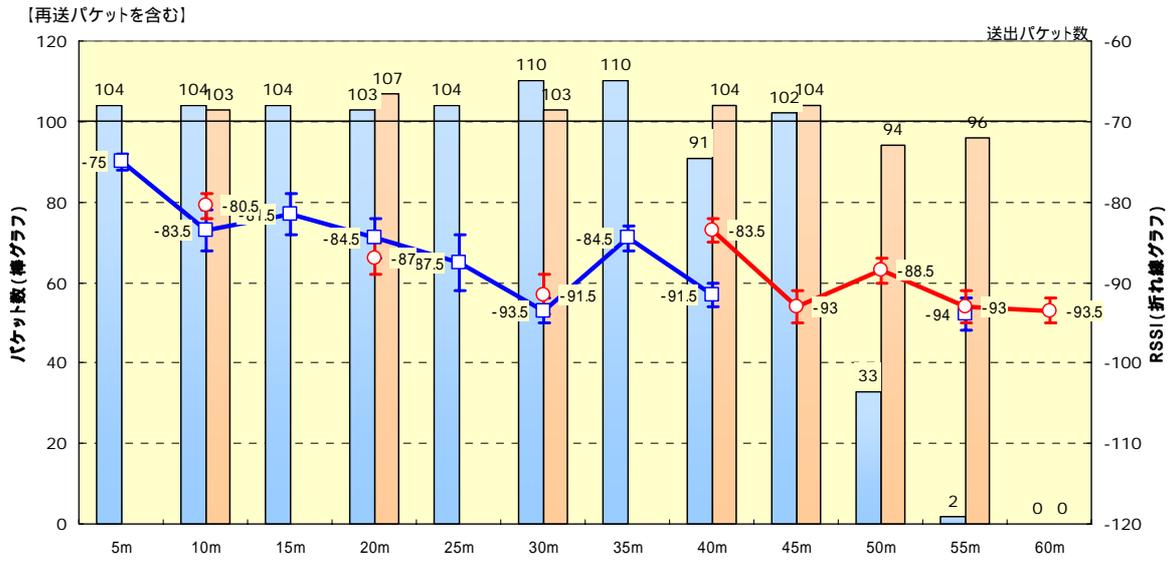


図 4.1-7 パターン B 距離特性

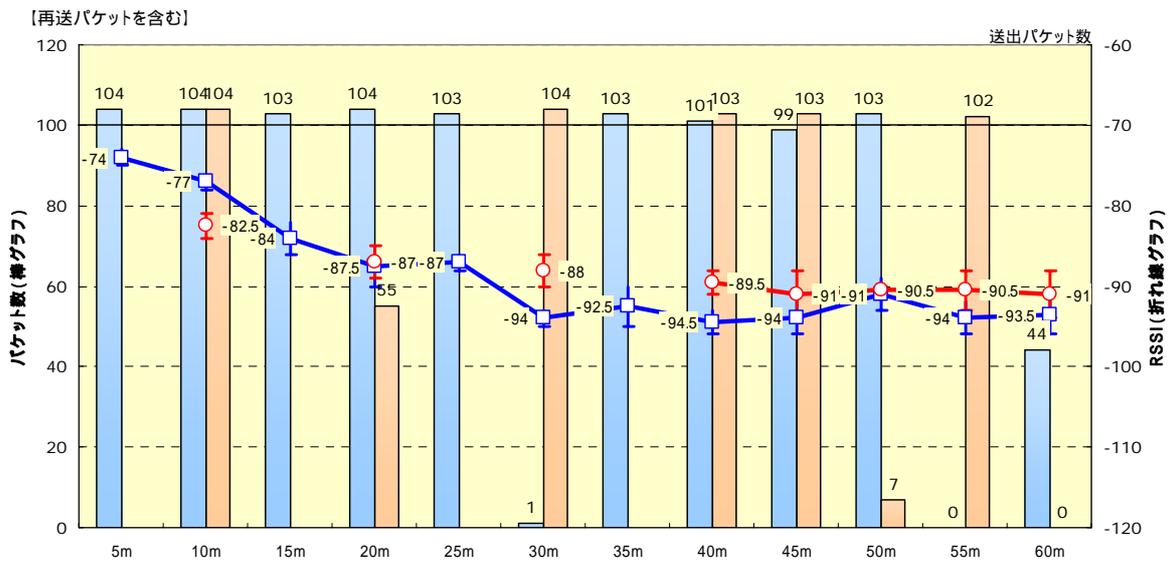


図 4.1-8 パターン C 距離特性



図 4.1-9 パターン D 距離特性

(1)分析・評価

各パターンにおける距離別の特性を見ると、以下のとおりである。

- ・各パターンでのパケット数が 100 を超えるものについては、測定対象データパケットの親機での受信不良または子機での Ack 受信不良による再送パケット複数回送信の影響であるが、この再送により情報データが損失せずに親機へ伝達されている。
- ・台上、パターン A、B、C 特性から、親機の高さが高くなると、通信到達距離が延びる。
- ・台上、パターン A、B、C 特性から、親機 45cm の高さで到達距離が約 30m ~ 50m くらいまで、135cm では 45m ~ 55m くらいまで延びている。
- ・パターン D の特性から、5m でもパケット数 34 と不安定でデータパケット（再送を含む）が損失することが多く、通信困難となった。

距離別パターン特性

(ア)試験特性結果

距離別の各パターンにおける特性を図 4.1-10 ~ 図 4.1-15 に示す。

凡例: ■ —□— : 45cm ■ —□— : 135cm
 パケット数には再送を含む(付属資料6「パケット調査試験」参照)

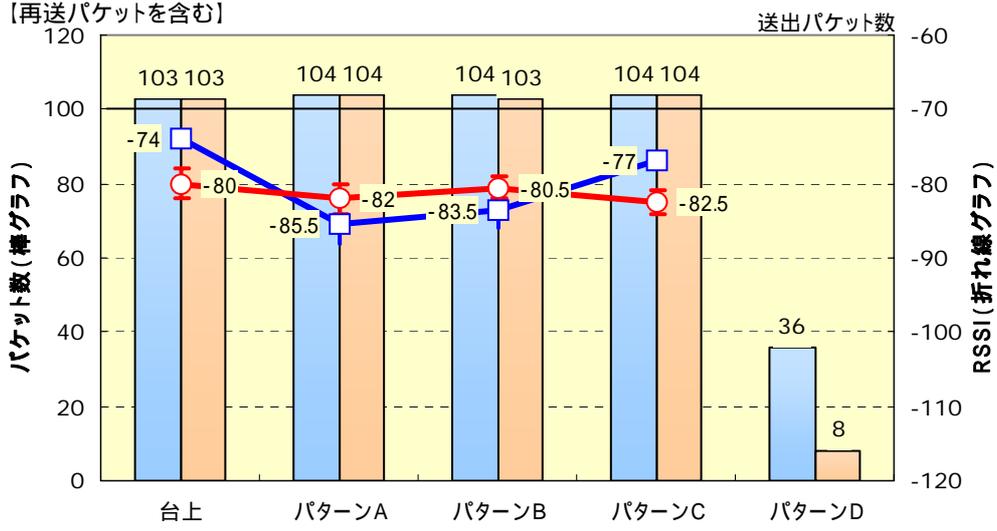
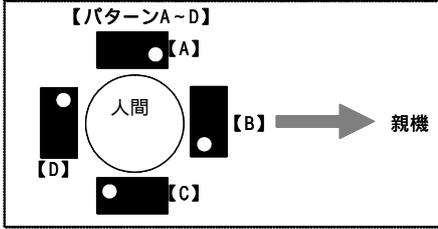


図 4.1-10 10m パターン特性

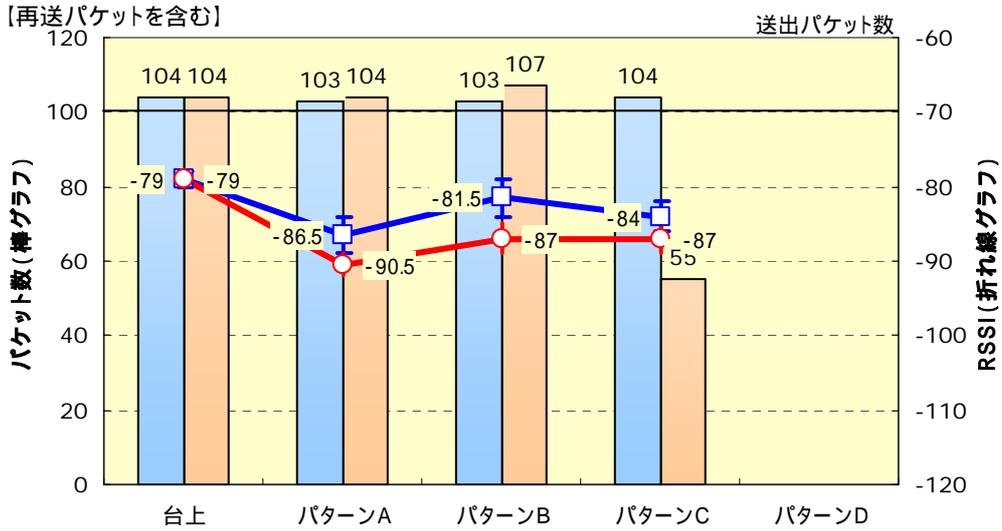


図 4.1-11 20m パターン特性

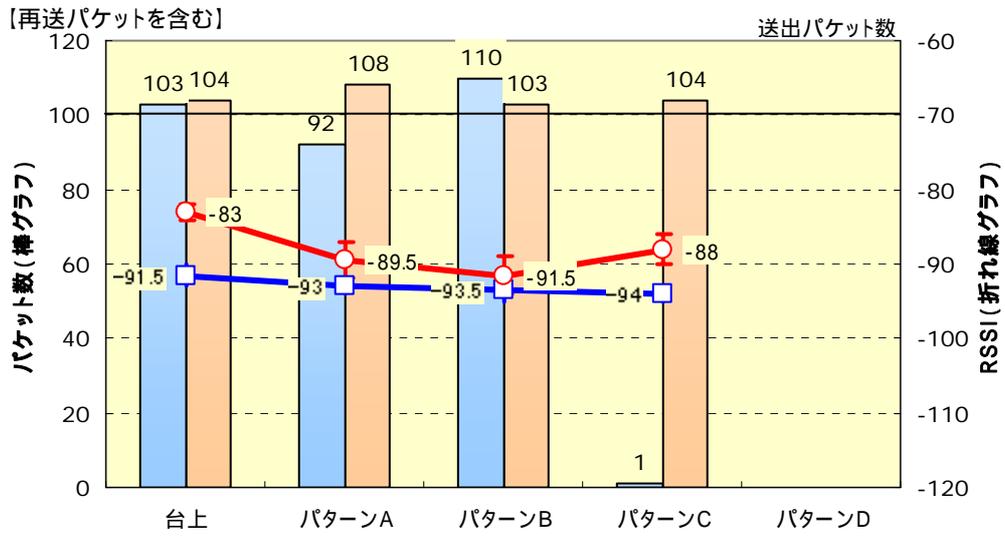


図 4.1-12 30m パターン特性

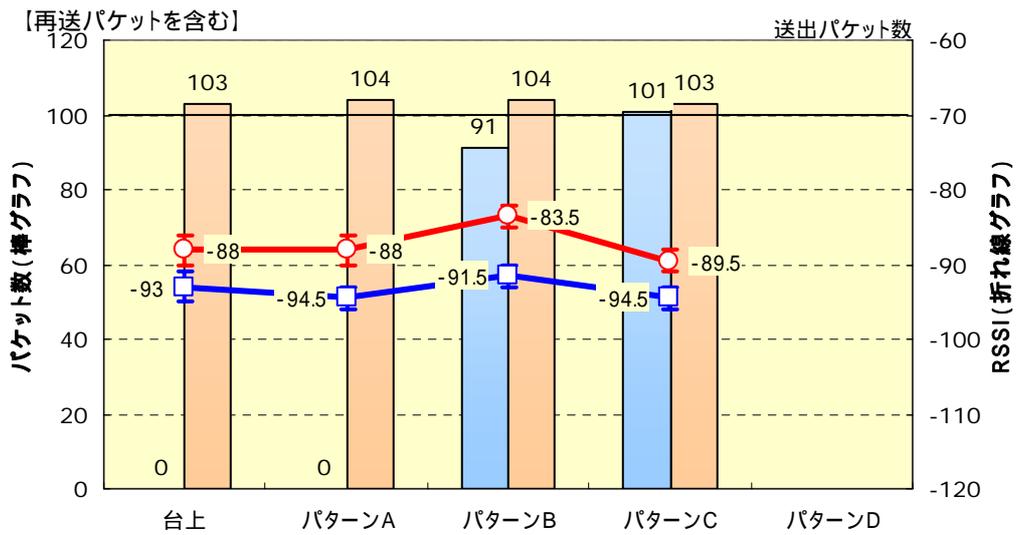


図 4.1-13 40m パターン特性

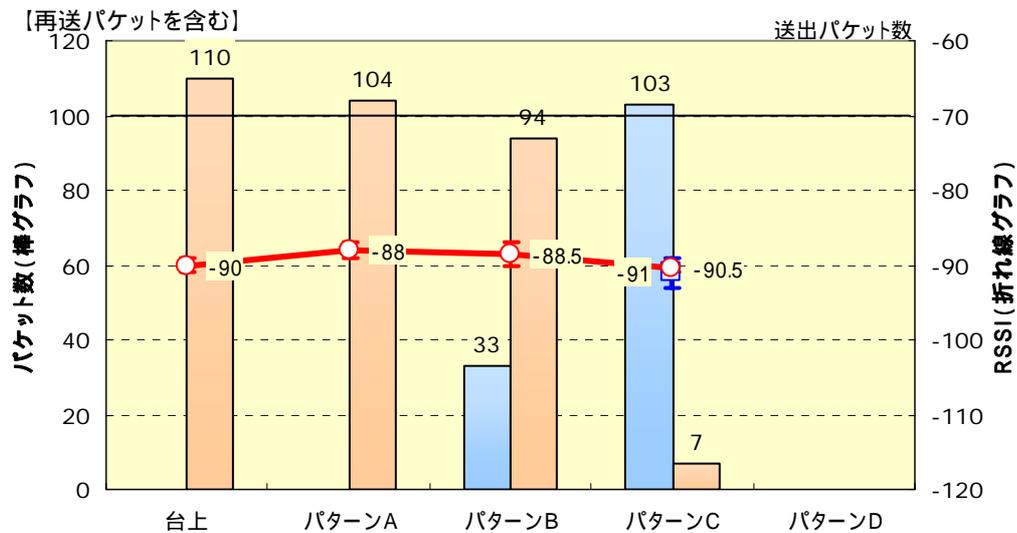


図 4.1-14 50m パターン特性

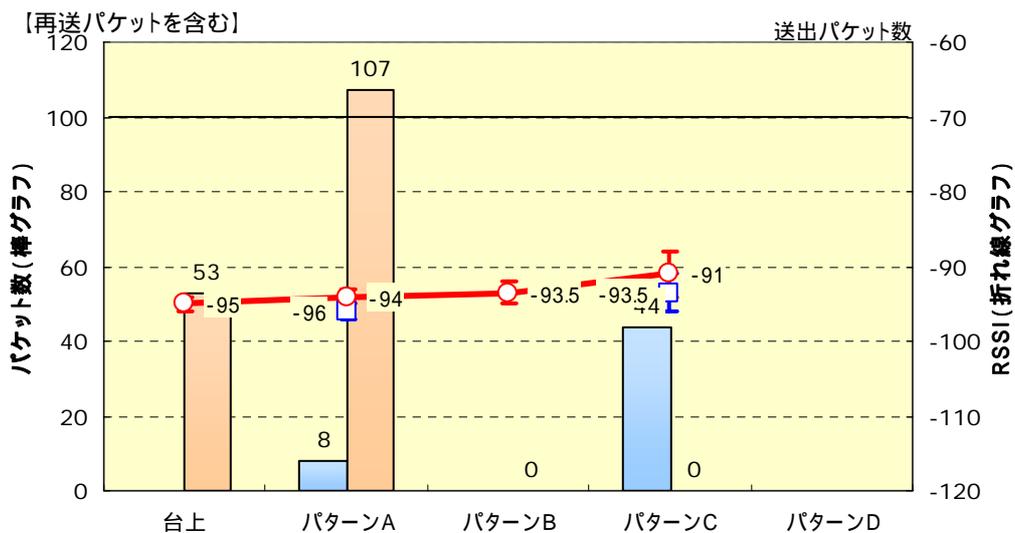


図 4.1-15 60m パターン特性

(1)分析・評価

各パターンにおける距離別の特性を見ると、以下のとおりである。

- ・ 10m の近距離では、台上、パターン A、B、C 特性はどれも良好で変わらないが、D パターンは通信困難となった。
- ・ 20m ~ 30m の距離では、台上、パターン A、B 特性はどれもほぼ良好で変わらないが、パターン C は多少不安定な面が見られ通信困難となった。パターン A と C では、試験機の向きが逆であるが、その違いで影響があるのか不明である。
- ・ 40m の距離では、台上、パターン A 特性が通信困難となったが、パターン B、

C 特性はほぼ良好であった。

- ・ 50m の距離では、45cm では通信困難となった。135cm では台上、パターン A、B 特性がほぼ良好であったが、パターン C は通信困難となった。
- ・ 60m の距離では、135cm のパターン A 特性が良好であったが、その他のパターンは通信困難となった。
- ・ パターン D では、近距離の 10m でも不安定で、それより距離が離れると通信困難となった。

子機の向きによる特性

(ア)試験パラメータ

- ・ 親機の高さ 135cm
- ・ 子機の高さ 45cm
- ・ 通信距離 10m

(イ)子機の方向と傾きパターン

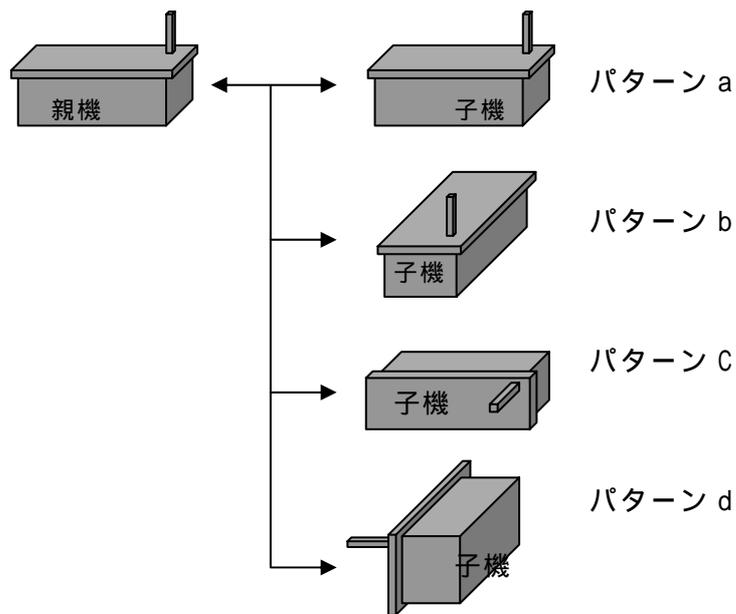


図 4.1-16 子機の方向と傾きパターン

(ウ)試験特性結果

試験機向きパターンにおける特性を図 4.1-17 に示す。

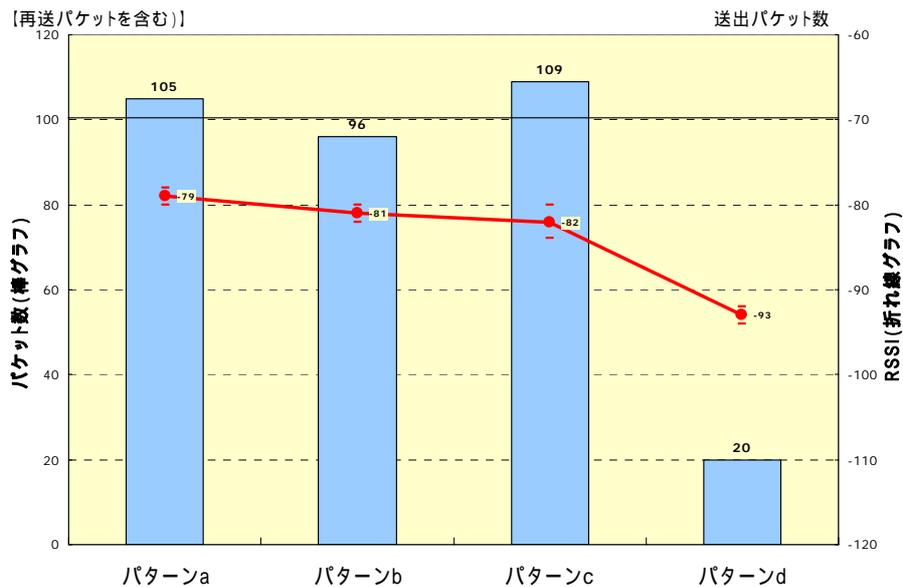


図 4.1-17 親機 135cm、10m パターン特性 (向き)

(I)分析・評価

RSSI 値、パケット損失ともに、パターン d の特性が悪くなっている。これは、アンテナの向きから推測すると、無線信号がアンテナの軸の同心円上に送られていることにより、親機方向への無線信号が届きにくいものと考えられる。

中継距離特性

(ア)試験パラメータ

- ・ 親機、中継子機、子機の高さ 45cm
- ・ 子機取付パターン パターン C

(イ)試験イメージ

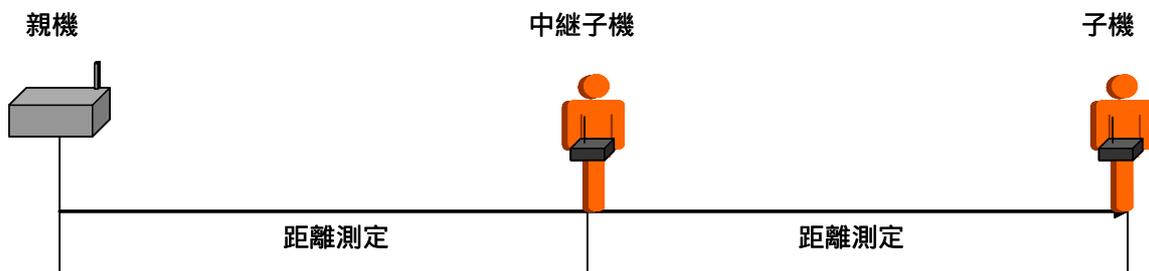


図 4.1-18 中継距離特性

(ウ)試験特性結果

親機～中継子機～子機の距離の試験結果を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 親機～中継子機～子機の通信可能距離結果

親機-中継子機 距離	中継子機-子機 距離	親機-中継子機	中継子機-子機
35 m	30 m		
40 m	35 m		
40 m	40 m		
40 m	45 m		×
45 m	40 m	×	-

：通信可、×：通信不可、-：通信状態把握不可

(I)分析・評価

親機～中継子機～子機の通信可能距離は、いずれも 40m～45m 程度で通信できなくなり、親機～中継子機と中継子機～子機の距離特性の差はあまり見受けられなかった。

(5)総合特性評価

以上の各試験パターンから総合特性評価すると以下のとおりである。

人間の体が本試験機の電波を反射及び吸収するため、親機から見て人間の体の裏側にある試験機に電波が届きにくい状態となっており、人間の動きによっては通信が困難になることが発生する。

試験機の高さが高くなると、電界強度が大きくなる。

さまざまな環境条件により左右されるが、台上、B、D パターンでの実測値から、ほぼ電界強度が-100dBm を超えると、パケットの再送が多くなり、通信が不安定になる傾向にある。

試験機の設置場所にもよるが、到達距離は約 30m～50m 程度である。

親機、子機試験機のアンテナがお互いに直交状態の位置関係にあると、通信感度が低下する。

親機～中継子機～子機の通信可能距離は、いずれも 40m 程度で、親機～中継子機と中継子機～子機の距離特性の差はあまり見受けられなかった。