

## 4.2. 超高速無線 LAN システムの外部アンテナの基本性能に関する検証

### 4.2.1. 超高速無線 LAN システムの長期安定動作に関する検証

#### 4.2.1.1. 概要

「平成 14 年度 e! プロジェクト教育分野」の技術的検証結果を踏まえて、その一部に屋外用もしくは屋内用の外部アンテナ設備を拡充し、屋内外を問わない超高速無線 LAN システム環境の有効性について検証を実施した。この検証にあたり、以下のような検証環境を構築した。検証用のネットワーク構成は図 4.2. 1 ネットワーク構成図(超高速無線 LAN システム部分は赤字)のとおりである。この環境を利用して以下の検証を行った。

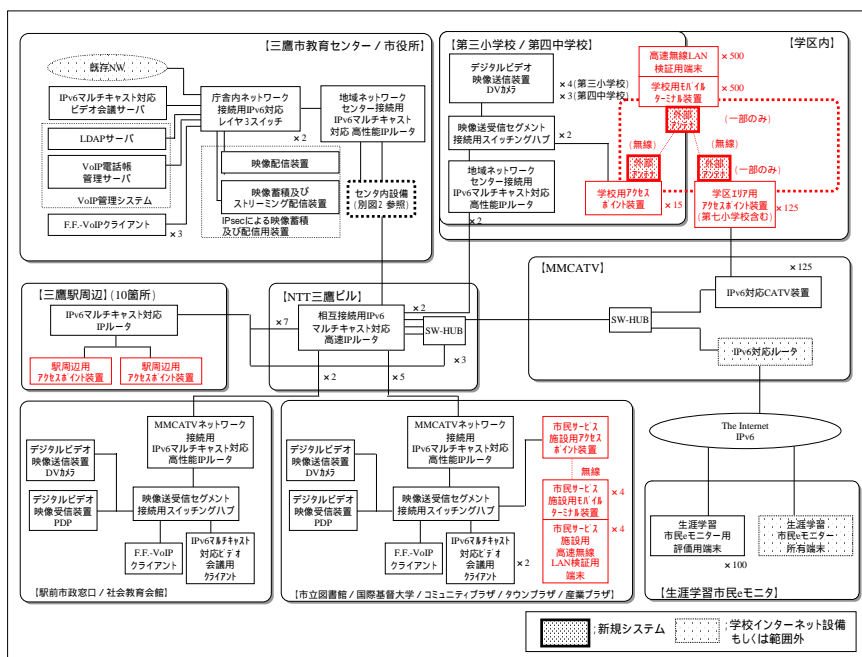


図 4.2. 1 ネットワーク構成図

本項では、超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び超高速無線 LAN モバイルターミナル装置が長期的に安定動作するか検証をおこなう。ヘルプデスクによる不具合対応、各モニターに対するアンケート、サーバのログ解析等によって検証をおこなう。

#### 4.2.1.2. 検証方法及び検証結果

##### 4.2.1.2.1. ヘルプデスクによる不具合対応

ヘルプデスクに問い合わせのあった不具合は、表 4.2.1 超高速無線 LAN アクセスポ

イント装置の不具合対応及び表 4.2.2 超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の不具合対応に記載されているとおりである。

表 4.2. 1 超高速無線 LAN アクセスポイント装置の不具合対応

使用場所	障害発生日	障害内容	対処
第三小学校	平成 15 年 10 月 30 日	電源投入後、正常に起動せず。	I C 部品の接触不良のため、該当の部品を再実装して対処。
第三小学校	平成 15 年 10 月 30 日	電源投入後、正常に起動せず。	I C 部品の接触不良のため、該当の部品を再実装して対処。
学区内	平成 15 年 10 月 30 日	電源投入後、正常に起動せず。	I C 部品の接触不良のため、該当の部品を再実装して対処。
学区内	平成 15 年 12 月 1 日	電源投入後、正常に起動せず。	I C 部品の接触不良のため、該当の部品を再実装して対処。
学区内	平成 16 年 2 月 9 日	電源投入後、LED 異常点滅、通信不可。正常に起動せず。	I C 部品の接触不良のため、該当の部品を再実装して対処。

表 4.2. 2 超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の不具合対応

使用場所	障害発生日	障害内容	対処方法
第三小学校	平成 15 年 10 月 21 日	超高速無線 LAN アクセスポイント装置とアソシエーションすることができない。	交換
第三小学校	平成 15 年 10 月 21 日	超高速無線 LAN アクセスポイント装置とアソシエーションすることができない。	交換
第四中学校	平成 15 年 10 月 21 日	超高速無線 LAN アクセスポイント装置とアソシエーションすることができない。	交換
第四中学校	平成 15 年 10 月 21 日	超高速無線 LAN アクセスポイント装置とアソシエーションすることができない。	交換
第三小学校	平成 15 年 12 月 4 日	誤って落下させてしまい、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置が変形してしまった。	破損品として対応
第三小学校	平成 16 年 2 月 9 日	通信が不安定である。	交換
第三小学校	平成 16 年 2 月 9 日	通信が不安定である。	交換
第三小学校	平成 16 年 2 月 12 日	通信が不安定である。	交換
第三小学校	平成 16 年 2 月 12 日	通信が不安定である。	交換
第三小学校	平成 16 年 3 月 4 日	通信が不安定である。	交換

#### 4.2.1.2.2.各モニタに対するアンケート

第三小学校生徒、第三小学校教員、第四中学校生徒、第四中学校教員のそれぞれに対して超無線 LAN 検証用端末でインターネットやドリル型コンテンツを使用した際の使用感についてのアンケートを以下のように実施した。

##### 1) 第三小学校生徒

第三小学校生徒に対して実施したアンケート項目及び結果は図 4.2. 2 第三小学校生徒アンケート結果 及び図 4.2. 3 第三小学校生徒アンケート結果 のとおりである。

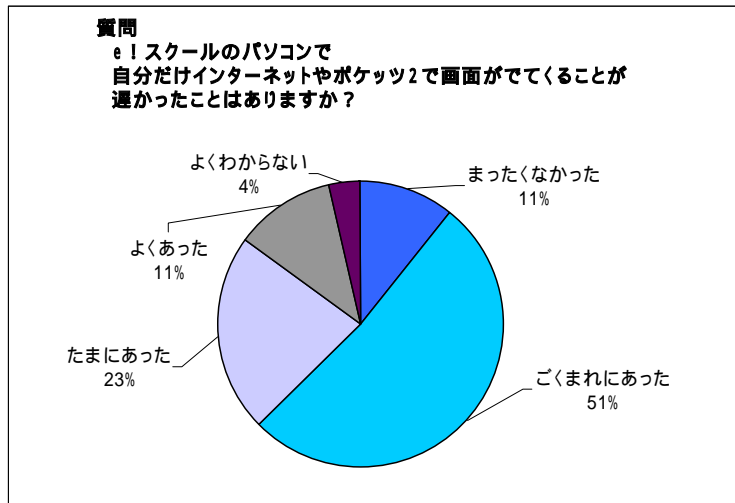


図 4.2. 2 第三小学校生徒アンケート結果

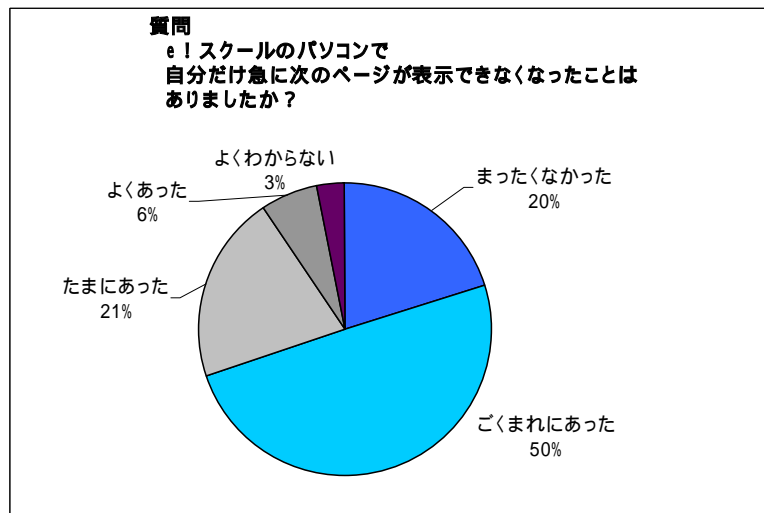


図 4.2. 3 第三小学校生徒アンケート結果

## 2) 第三小学校教員

第三小学校教員に対して実施した選択式のアンケート項目及び結果は図 4.2. 4 第三小学校教員アンケート結果である。

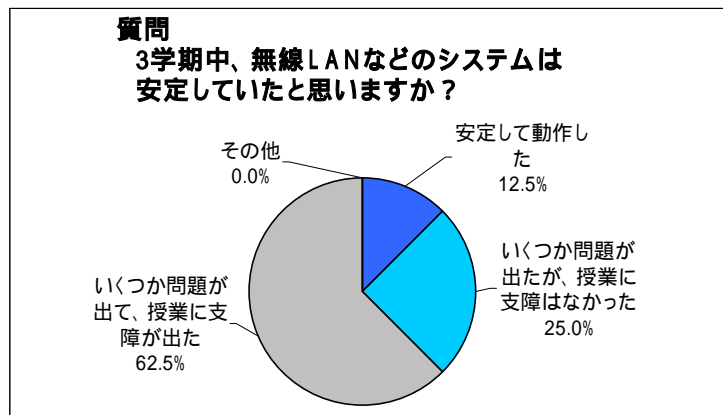


図 4.2. 4 第三小学校教員アンケート結果

また、記述形式でのアンケートには以下のような記述があった。

- web サイトのページを表示できないことがあった。
- ドリル教材で次の問題のページが画面遷移の途中で応答なくなった。
- ドリル教材で採点の結果を表示することができなかった。

### 3) 第四中学校生徒

第四中学校生徒に対して実施したアンケート項目及び結果は図 4.2. 5 第四中学校生徒アンケート結果 及び図 4.2. 6 第四中学校生徒アンケート結果 である。

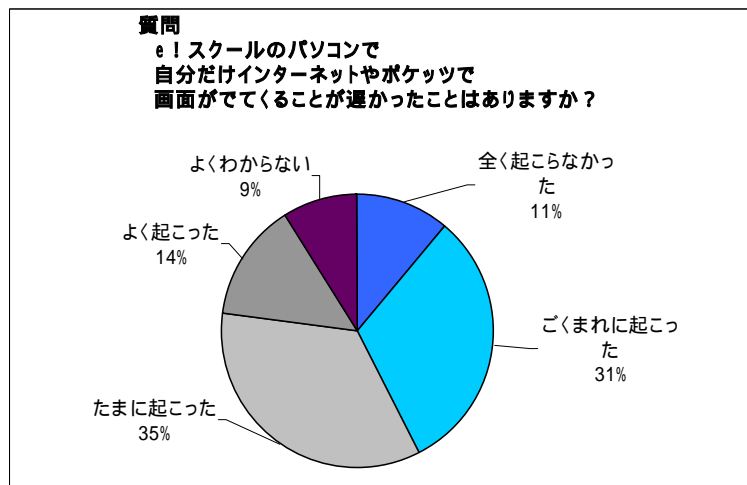


図 4.2. 5 第四中学校生徒アンケート結果

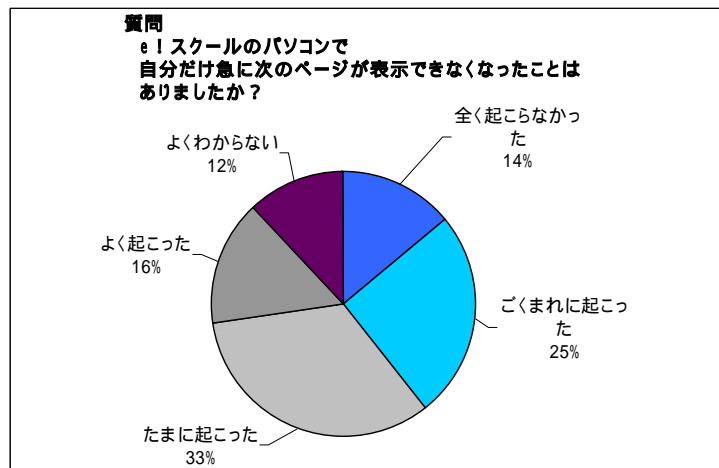


図 4.2. 6 第四中学校生徒アンケート結果

#### 4) 第四中学校教員

第四中学校教員に対して実施した選択式のアンケート項目及び結果は図 4.2. 7 第四中学校教員アンケート結果である。

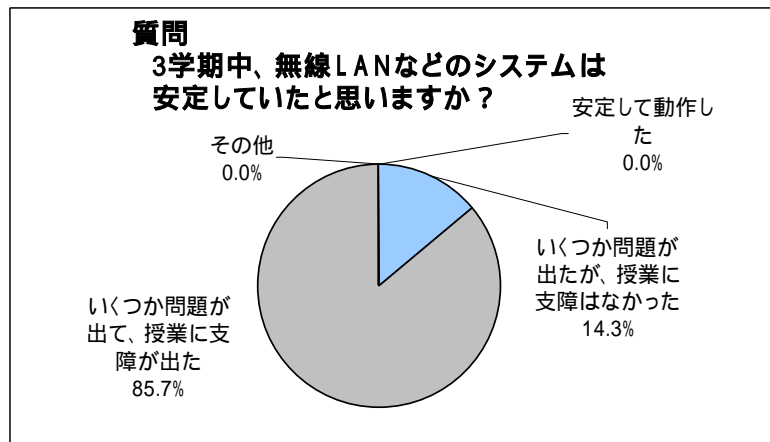


図 4.2. 7 第四中学校教員アンケート結果

また、記述形式でのアンケートには以下のような記述があった。

- web サイトのページの表示が遅くなるがあった。
- 突然、超高速無線 LAN アクセスポイント装置に接続できなくなる時があった。
- 授業で使用すると通信速度が極端に遅くなる。

#### 4.2.1.2.3.サーバのログ解析

超高速無線 LAN アクセスポイント装置の通信を解析するために「4.1IPv6 マルチキャストによる大容量、高画質の動画配信技術検証と IPsec による認証技術に関する検証」と同様に監視ツールによって収集された通信ログを利用した。この監視ツールを使用することによって、超高速無線 LAN アクセスポイント装置の無線インターフェースのネットワーク使用量をグラフ化することができる。例として図 4.2. 8~図 4.2. 11 に第三小学校内の教室に設置された超高速無線 LAN アクセスポイント装置(sansho-ap6)の通信ログのグラフを記載する。

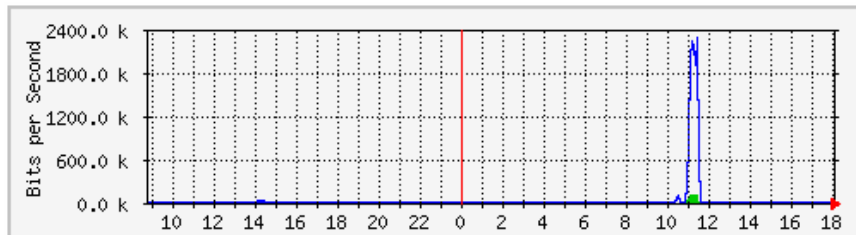


図 4.2. 8 sansho-ap6 ネットワーク使用量グラフ(時間毎)

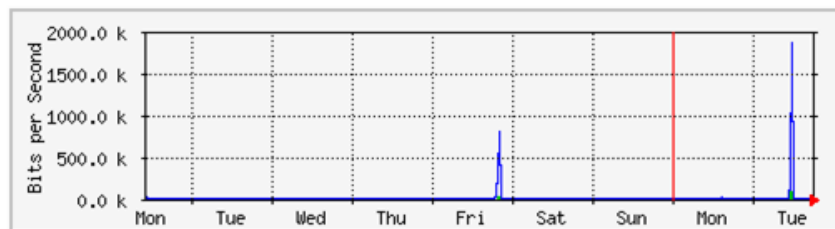


図 4.2. 9 sansho-ap6 ネットワーク使用量グラフ(日毎)

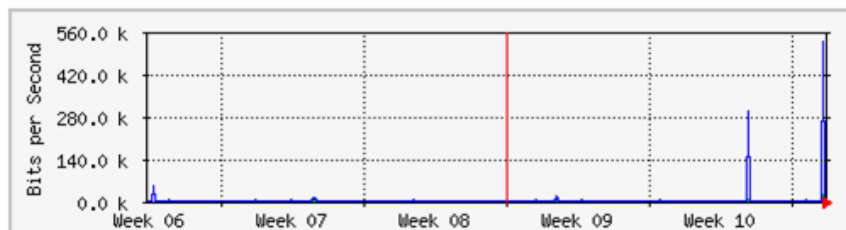


図 4.2. 10 sansho-ap6 ネットワーク使用量グラフ(週毎)

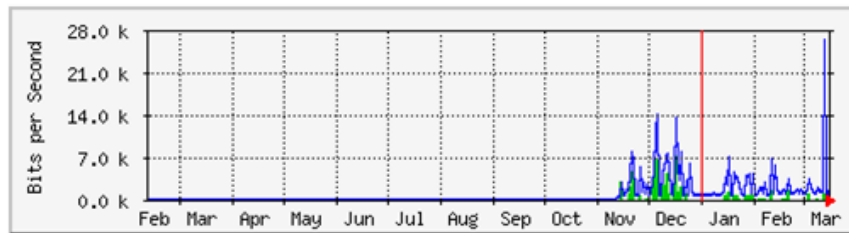


図 4.2. 11 sansho-ap6 ネットワーク使用量グラフ(毎月)

#### 4.2.1.3.不具合対応

##### 4.2.1.3.1.ヘルプデスクによる不具合対応

ヘルプデスクに問い合わせのあった不具合について以下にまとめた。

- 1) 超高速無線 LAN アクセスポイントとアソシエーションしない。

##### 現象

超高速無線 LAN モバイルターミナル装置と超高速無線 LAN アクセスポイント装置の間で、通信することができない。

##### 原因と対応

メーカーで原因の解析を行ったところ、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に内蔵されたアンテナが所定の性能を出していないということが原因と判明した。超高速無線 LAN モバイルターミナル装置を交換することによって対処した。超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に、受信感度など個々の物品ごとに性能的なバラツキが存在し、それが原因であったと考えられる。

- 2) 通信が不安定になる。

##### 現象

超高速無線 LAN モバイルターミナル装置と超高速無線 LAN アクセスポイントの間での通信が不安定である。

##### 原因と対応

上記と同様に、メーカーで原因の解析を行ったところ、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に内蔵されたアンテナが所定の性能を出していないということが原因と判明した。超高速無線 LAN モバイルターミナル装置を交換することによって対処した。超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に、受信感度など個々の物品ごとに性能的なバラツキが存在し、それが原因であったと考えられる。

- 3) 落下による超高速無線 LAN モバイルターミナル装置が破損。

##### 現象



超高速無線 LAN モバイルターミナル装置をスロットに差し込んだまま、超高速無線 LAN 検証用端末を落下させてしまい、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置が変形してしまった。

#### 原因と対応

落下させてしまったことが、変形の直接的な原因であるが、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置が超高速無線 LAN 検証用端末から一部はみ出すような形で装着せざるを得ないことが変形してしまったことの間接的な原因と考えられる。端末内蔵型の超高速無線 LAN モバイルターミナル装置を使用することによって障害を未然に防ぐことができると考えられる。

#### 4) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置が正常に起動できない。

##### 現象

超高速無線 LAN アクセスポイント装置に電源を投入した後、LED の異常点滅等が発生し正常に起動することができず、無線通信をすることができなかった。

##### 原因と対応

メーカーで原因の解析を行ったところ、IC 部品の接触不良が正常に起動することができないことの原因であると判明した。該当の部品を交換することで対応した。

#### 4.2.1.3.2.各モニタに対するアンケート

##### 1) 超高速無線 LAN システムが授業等で正常に使用できない。

##### 現象

超高速無線 LAN システムを利用して、ホームページを閲覧する際に、画面表示や画面遷移が遅い、ドリル型コンテンツの採点などの応答が返ってこない。

##### 原因と対応

アンケート結果を踏まえ、現地での調査を実施した。アンケート結果と現地での調査を総合した結果、不具合の原因は以下であると考えられた。各教室には、前後に 1 台ずつ超高速無線 LAN アクセスポイント装置が設置されているが(図 4.2.12 超高速無線 LAN 装置設置場所(教室内))、超高速無線 LAN システムを授業等において多人数で利用した場合に、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の接続先が片方の超高速無線 LAN アクセスポイント装置に大きく偏り、多くの接続を受けた方の超高速無線 LAN アクセスポイント装置では性能を超える数の接続数を処理することになったため通信速度やレスポンスタイムなどの通信品質の低下を招いてしまったのだと考えられた。超高速無線 LAN アクセスポイント装置(WLM2-G54)及び超高速無線 LAN モバイルターミナル装置(WLI-CB-G54)には接続を負荷分散するような機能を持っていない。仕様上、各超高

速無線 LAN モバイルターミナル装置(WLI-CB-G54)は最も電波強度の強い超高速無線 LAN アクセスポイント装置とアソシエーションしてしまう。そのため、超高速無線 LAN アクセスポイント装置の各個体の電波強度の強さや教室内での位置(図 4.2. 12 超高速無線 LAN 装置設置場所(教室内)のように、やや後に多くの机がある。)等の諸条件によって、片方の超高速無線 LAN アクセスポイント装置に負荷がかかってしまったと考えられる。

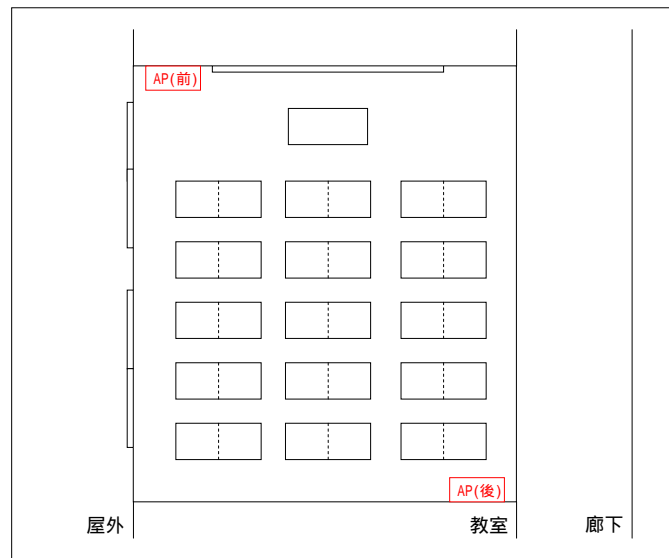


図 4.2. 12 超高速無線 LAN 装置設置場所(教室内)

また、解決方法のひとつとして教室内に設置する超高速無線 LAN アクセスポイント装置を増設するという方法も考えられる。超高速無線 LAN システムでは、超高速無線 LAN アクセスポイント装置同士がお互いに影響を及ぼしあう距離にある場合、使用する周波数を 20MHz(4 チャンネル)以上離して設定しなければお互いの電波が干渉してしまいスループットの低下等が発生する。使用できるチャンネル数は 13 チャンネルあり、同時に 4 チャンネルまで設定することができるが、隣接する教室でも超高速無線 LAN システムを運用しているため、1 教室あたりに超高速無線 LAN アクセスポイント装置を 2 台以上設置することは難しい。結論としては、やはりロードバランス機能を持つ無線 LAN 製品の導入による解決が最も適切であると考えられる。

#### 4.2.1.3.3. サーバのログ解析

上記のような監視ツールによって収集された各超高速無線 LAN アクセスポイント装置

のネットワーク使用量の通信ログを解析したところ、ネットワークの使用量がまったくないなどの異常を示す超高速無線 LAN アクセスポイント装置はなく、表 4.2. 1 超高速無線 LAN アクセスポイント装置の不具合対応のヘルプデスクによって対応した不具合以外には安定して動作していたことを確認した。

#### 4.2.1.4.まとめ

本検証の結果をまとめると、ヘルプデスクによって対応した超高速無線 LAN アクセスポイント装置の IC 部品の接触不良及び超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の内蔵アンテナ感度などの不具合については、導入したのが昨年度であり、まだまだ製品としての完成度が足りなかったことが原因であったと考えられる。今後、超高速無線 LAN システムの普及や発展が進むことによって不具合が解消されることが望まれる。また、超高速無線 LAN アクセスポイント装置が多量の接続により通信を処理しきれなくなる不具合については、無線 LAN モバイルターミナル装置の接続数を制御するロードバランス機能が実装された無線 LAN アクセスポイント装置や、無線 LAN アクセスポイント装置と連携してロードバランスをおこなうスイッチ装置等の導入によって解決することができると思われる。学校教育における授業で使用するという性格上、いつでも全ての端末で超無線 LAN システムを簡単に使用することが求められる。超高速無線 LAN システムを広く学校教育で使用する場合には、上記のようなロードバランス機能を持つ設備の導入が必要であると考えられる。また、児童や生徒が使用するため端末をあやまって落下させてしまうことも多いと想定される。そのため、破損に強い端末内蔵型の超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の導入も必要であると考えられる。

## 4.2.2. 超高速無線 LAN システムのユーザ視点からの有効性に関する検証

### 4.2.2.1. 概要

本実証実験期間中、超高速無線 LAN システムを使用したモニタに対しアンケートを行い、その結果から超高速無線 LAN システムを使用したアプリケーションの操作性、超高速無線 LAN システムの利便性、有効性について検証を行う。

### 4.2.2.2. 利用状況

超高速無線 LAN 端末（計 500 台）は、第三小学校の 4 年生、5 年生、6 年生の児童、第四中学校の 2 年生の生徒に一人 1 台を割り当て、授業や家庭学習で使用した。

第三小学校、第四中学校での主な利用シーンとアプリケーションは前述 3.2 教育現場への IT の利活用事例のほか、表 4.2.3 超高速無線 LAN システム利用シーン（第三小学校、第四中学校）などがある。

表 4.2.3 超高速無線 LAN システム利用シーン（第三小学校、第四中学校）

授業内容	使用アプリケーション
調べ学習（教科問わず）	インターネット
算数授業中のまとめ問題	ポケッツ 2
英語授業	ネットフォン
第三小学校 教科選択授業 理科	カプタリウム

また、図書館と、コミュニティセンター内に位置する駅前図書館に 20 台設置し、図書館を利用する三鷹市一般市民に対して自由に利用可能とした。超高速無線 LAN システムで利用可能な機能としては、主に三鷹ポータルとインターネットであった。

### 4.2.2.3. 評価

第三小学校児童、第四中学校生徒、学校関係者、及び平成 14 年 12 月～平成 15 年 3 月にかけて図書館に設置した超高速無線 LAN システムを利用した三鷹市一般市民に対してアンケートを実施した。アンケートの回答数は、第三小学校の児童 222 人、第四中学校の生徒 134 人、第三小学校先生 11 名、第四中学校先生 8 名、図書館で使用した市民 90 名である。この結果をもとに有効性について評価する。

#### 4.2.2.3.1. 利用頻度

超高速無線 LAN システムを利用している各アプリケーションの利用頻度や、自宅での利用頻度についてアンケートの結果をもとに述べる。

超高速無線 LAN システムにより、児童・生徒が学習を行うアプリケーションは以下の3つ。

(1) ポケッツ2

平成14年度e!プロジェクト調査研究(教育分野)において、「学校インターネットにおける教材拡充装置」として整備された学習履歴型ドリルコンテンツである。サーバ内に單元ごとの問題が格納されており、児童は個々の端末よりNW経由でアクセスし、学力に応じた問題を解くことができる。また、学習履歴の蓄積機能を有し、苦手問題の認識・復習や、教員による学習管理を行うことができる。



図 4.2. 13 ポケッツ2 画面イメージ(トップページ)



図 4.2. 14 ポケッツ 2 画面イメージ (学習ページ)

## (2) Learning Together

平成 14 年度 e! プロジェクト調査研究 (教育分野) において、「IPv6 対応 Learning Together コラボレーションサーバ」として整備された教育コミュニケーション支援アプリケーション。登録者全員が参加できる掲示板や、共同作業を支援するツールを有しており、総合的な学習の時間における学校-家庭-地域社会 (メンター：授業支援者) 間の交流活動などの、地域一体型教育を支援するもの。



図 4.2. 15 Learning Together 画面イメージ (トップページ)



図 4.2. 16 Learning Together 画面イメージ (メニュー画面)

### (3) カプタリウム

平成 14 年度 e! プロジェクト調査研究 (教育分野) において、「ネットワーク型コンテンツ制御実証研究用動画配信システム」として整備された情報編集型総合学習システム。バーチャルな 3D 海世界を舞台にした学習空間において、学習コンテンツ (カプタ) を集め関係性をさぐるにより、児童の断片的な情報を自発的に組み立てる能力の醸成を目的とするもの。





図 4.2. 17 カプタリウム画面イメージ

#### 1) ポケッツ 2

第三小学校ではモジュールの時間にポケッツ 2 を活用した。モジュールの時間の詳細については 3.2.6 第三小学校モジュールの授業に示した通りである。各クラス 1 週間に 2 回程度ポケッツ 2 を利用した。このモジュールの時間で約 80 回使用していることになる。また、授業以外にポケッツ 2 を使用した頻度について図 4.2. 18 ポケッツ 2 授業外使用頻度（第三小学校児童）に示す。



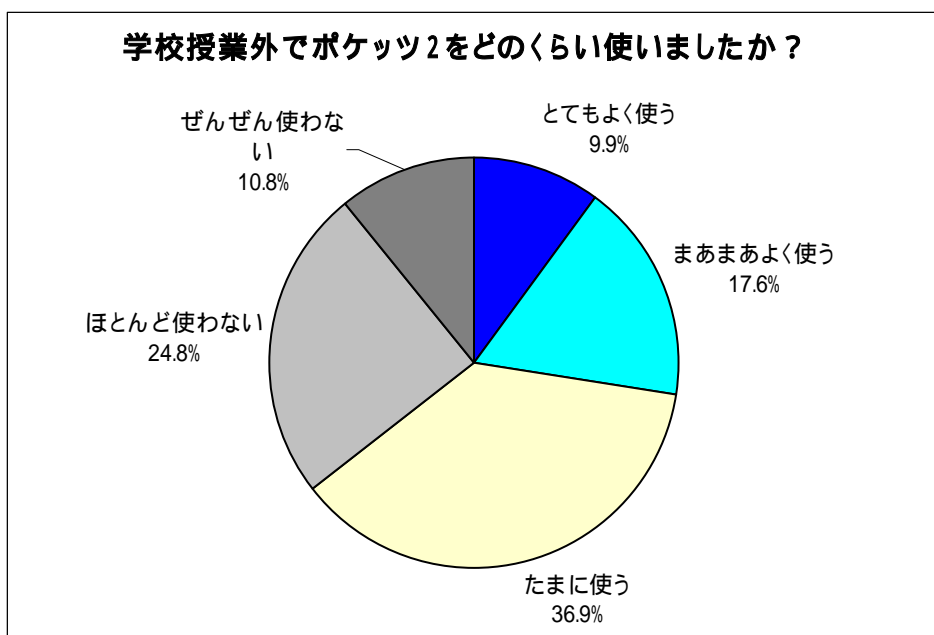


図 4.2. 18 ポケッツ 2 授業外使用頻度（第三小学校児童）

上記から、ポケッツ 2 の授業以外での使用は「とても」「まあまあ」「たまに」使うとの回答を合わせると 64.4%あり、第三小学校ではかなり頻繁に使用されていた事が分かる。

また、第四中学校の生徒にはアンケートにて実証実験期間中のポケッツ 2 の使用頻度について問い合わせた。その結果を図 4.2. 19 ポケッツ 2 利用頻度（第四中学校生徒）に示す。

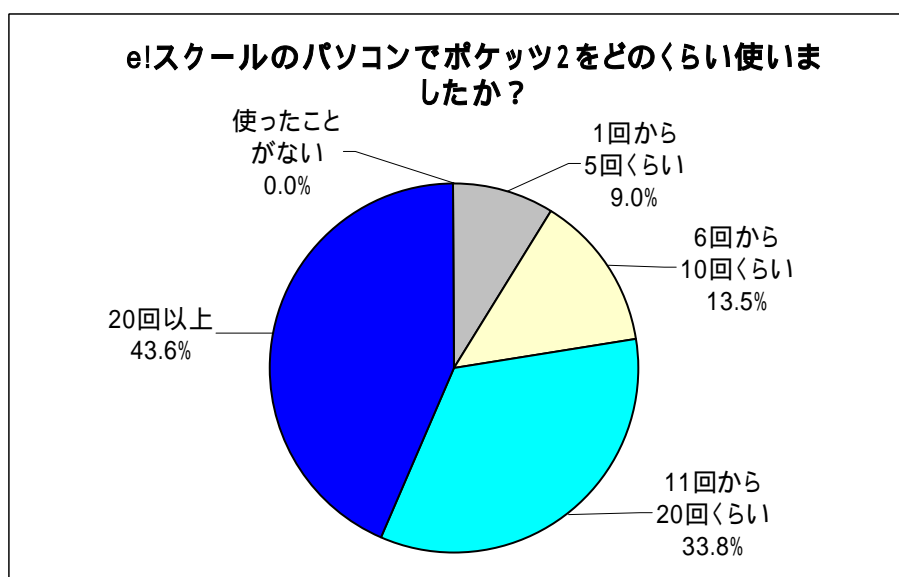


図 4.2. 19 ポケッツ 2 利用頻度（第四中学校生徒）

第四中学校では第三小学校のような定期的な使用はなかったが、上記の生徒の利用頻度と先生のアンケート回答から、数学と選択科目の英語の授業の一部でたびたび利用されていたことが分かった。また、相談室の個別指導でたびたび使用したとの回答もあった。

ポケッツ 2 は超高速無線 LAN システムが使用可能な場所であれば、個人でも使用できるシステムであり、本実証実験の中での IPv6 対応アプリケーションで最も使用されたアプリケーションであるといえる。

## 2) Learning Together

第三小学校の児童を対象にアンケートにて Learning Together の利用頻度を問い合わせた。その結果を図 4.2. 20 Learning Together の利用頻度 (第三小学校児童) に示す。

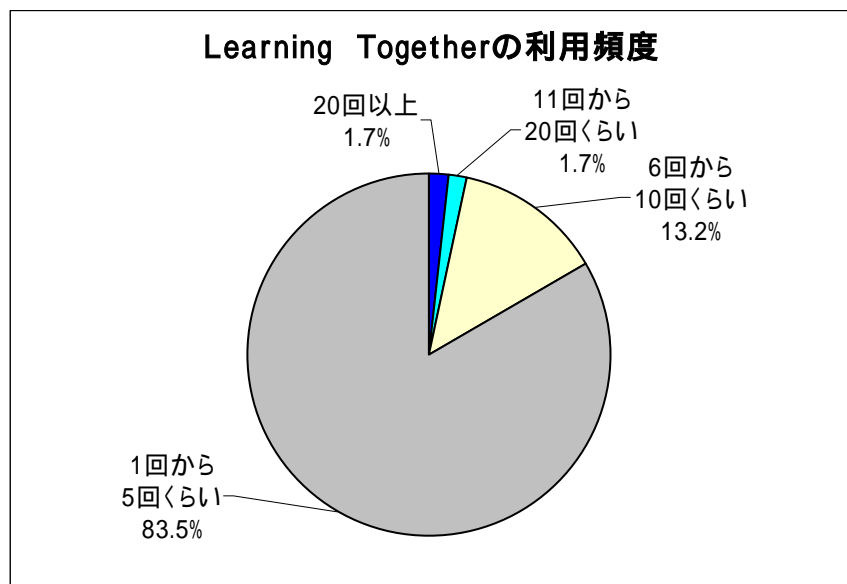


図 4.2. 20 Learning Together の利用頻度 (第三小学校児童)

Learning Together は、授業の中で先生の指導のもと地域の方とのやり取りの為に使用された。回数は少ないものの、Learning Together を使用した 5 人の先生方のうち、4 人の先生が「地域の方との連携が出来る手段として授業に利用しやすいツールである」との感想が見られた。

第四中学校では、中学生向けのコンテンツではなく授業では活用しにくいといった理由から Learning Together は使用されなかった。

## 3) カプタリウム

第三小学校 5 年生で教科選択授業にて理科を選択した 20 人の児童がカプタリウムを利

用した。教科選択授業は約3ヶ月の間1週間に連続2時間分授業を行う時間割になっているが、そのうち2日間、計4時間分カプタリウムを行い、1日はインターネットを利用して調べ学習を行った。

次に、アンケートにて第三小学校児童にどのくらいの頻度で家に持ち帰るか、また、何に使用したかどうかについて問い合わせた。その結果が、図4.2.21 パソコンを持ち帰る頻度（第三小学校児童）と表4.2.4 自宅でのe!パソコン使用用途（第三小学校児童）である。

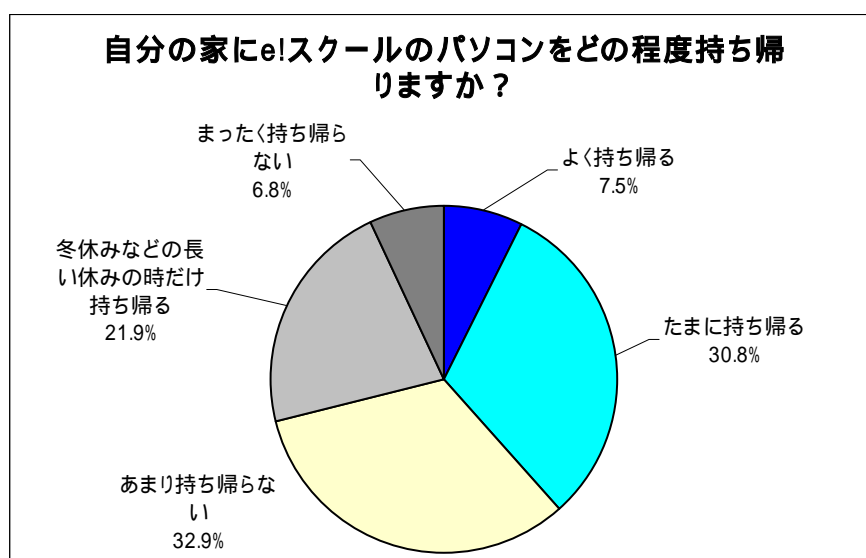


図4.2.21 パソコンを持ち帰る頻度（第三小学校児童）

表4.2.4 自宅でのe!パソコン使用用途（第三小学校児童）

システム名	割合
ポケット2	22.7%
Learning Together	0.9%
カプタリウム	4.3%
ネットフォン	0.0%
インターネット	21.0%
メール	0.4%
ホームページ作成	24.0%
その他	26.6%

図4.2.21 パソコンを持ち帰る頻度（第三小学校児童）で示したとおり、第三小学校

児童は「よく持ち帰る」と回答した児童は 7.5% だけであり、頻繁にパソコンを持ち帰っているとはいえないが、まったく持ち帰らなかった児童は 6.8% にとどまった。持ち帰ったパソコンでは、ポケッツ 2 やインターネットなど、超高速無線 LAN システムがよく使用されていることが分かる。図 4.2. 23 持ち帰ったパソコンの利用シーンのとおり、パソコンを家から持ち出し、友人宅や市施設などで使用している児童が 32.1% いた。

第四中学校の生徒については、第三小学校児童と同じようにアンケートにて自宅にパソコンを持ち帰る頻度と、何に使用したかどうかについて問い合わせた。その結果が図 4.2. 22 e!パソコンを持ち帰る頻度（第四中学校生徒）表 4.2. 3 超高速無線 LAN システム利用シーン（第三小学校、第四中学校）である。

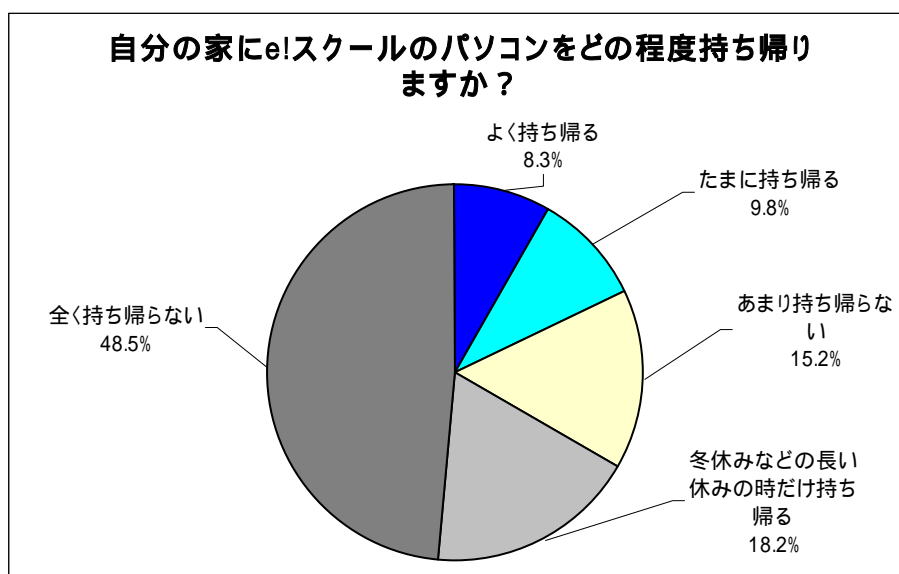
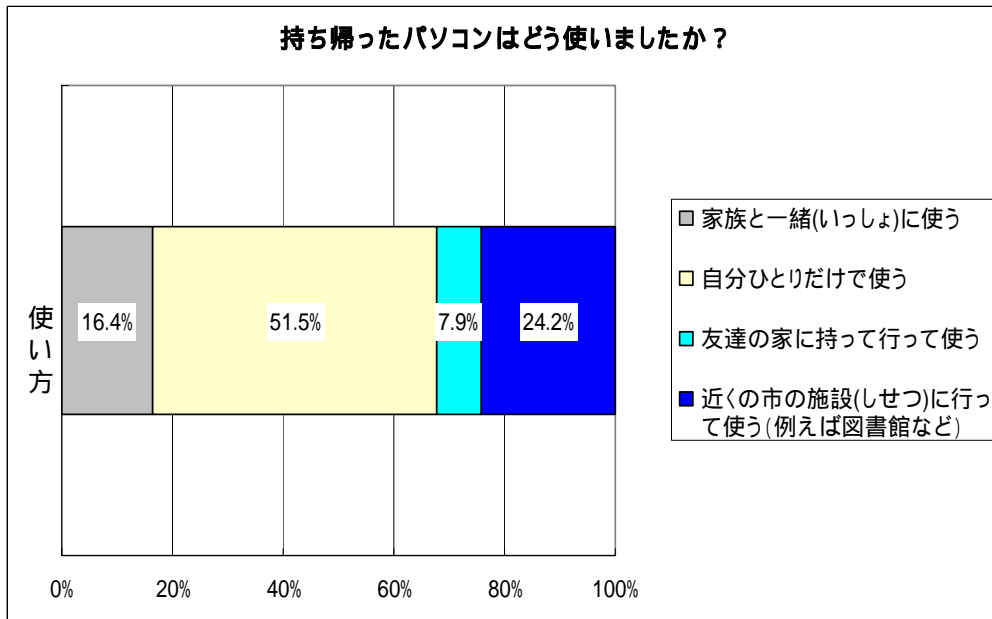


図 4.2. 22 e!パソコンを持ち帰る頻度（第四中学校生徒）

表 4.2. 5 自宅での e!パソコン使用用途（第四中学校生徒）

システム名	割合
インターネット	25.2%
メール	18.7%
チャット	6.5%
インスタントメッセンジャ	4.1%
ホームページ作成	0.8%
その他	43.7%



**図 4.2. 23 持ち帰ったパソコンの利用シーン**

第四中学校では半数以上の生徒が全く持ち帰っていない理由としては、精密機械の管理や、学校の中で 2 年生だけがパソコンをひとり一台与えられているという不公平感などの問題の対応策であったと考えられる。

次に、図書館での超高速無線 LAN 端末の利用頻度は、利用者へのアンケート回収数が 90 部であったことを考慮すると、それを超える人数の市民が超高速無線 LAN システムを利用したと考えられる。

#### 4.2.2.3.2. クライアントアプリケーションの操作性

超高速無線 LAN システムが必須なアプリケーションについての操作性をアンケート結果より評価する。

#### 4) ポケッツ 2

第三小学校の児童と第四中学校の生徒にポケッツ 2 の操作性について問い合わせた。その結果が図 4.2. 24 ポケッツ 2 の操作性について(第三小学校児童)と図 4.2. 25 ポケッツ 2 の操作性について(第四中学校生徒)である。

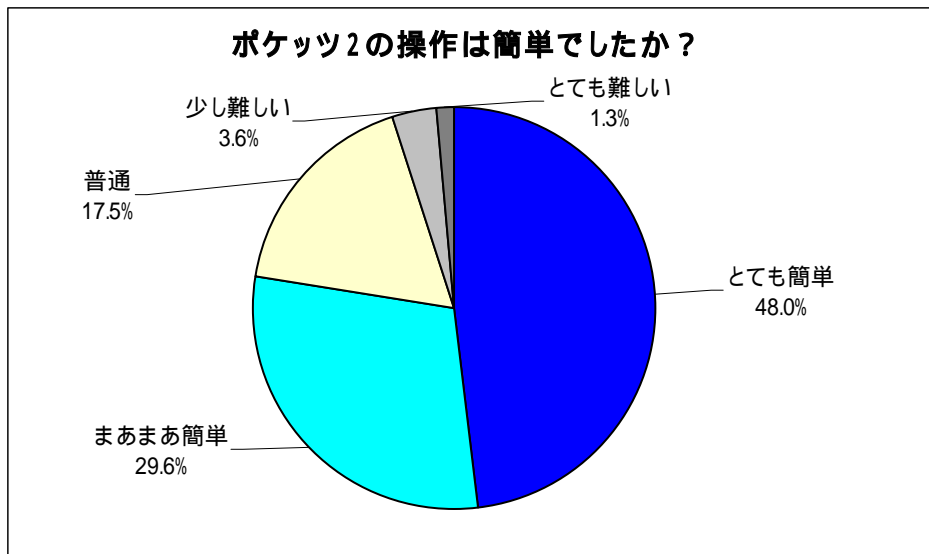


図 4.2. 24 ポケッツ2の操作性について (第三小学校児童)

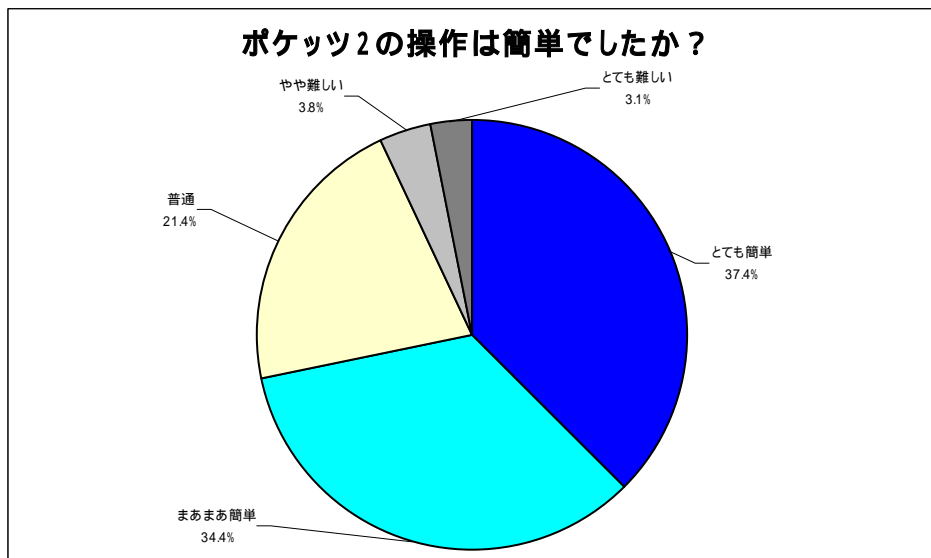
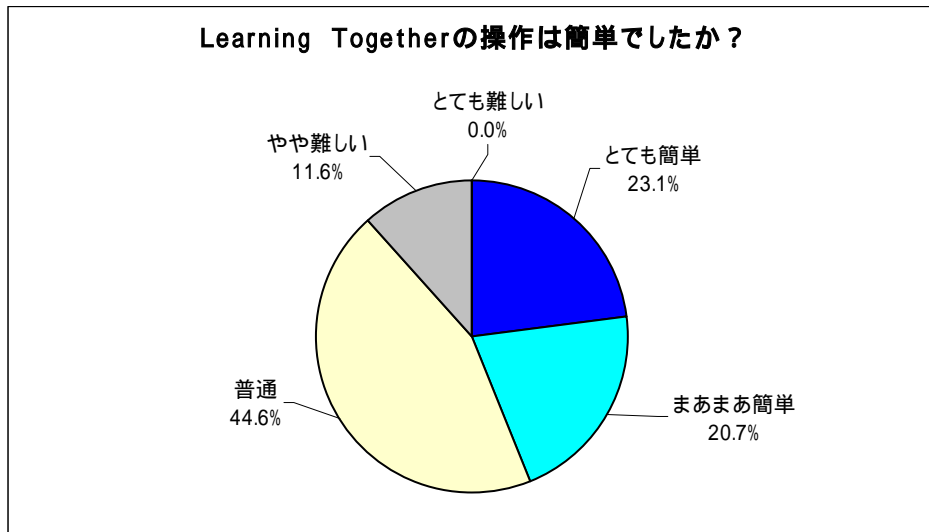


図 4.2. 25 ポケッツ2の操作性について (第四中学校生徒)

第三小学校、第四中学校とも「やや難しい」「とても難しい」の回答がかなり少ないことから、小学生、中学生が使用するコンテンツとして特に問題がないと考えられる。

#### 5) Learning Together

第三小学校の Learning Together を使用した児童に対して、アプリケーションの操作性について問い合わせた。その結果が図 4.2. 26 Learning Together の操作性について (第三小学校児童) である。



**図 4.2. 26 Learning Together の操作性について (第三小学校児童)**

「とても簡単」「まあまあ簡単」「普通」と回答している児童が 88.4%を占めており、小学生が使用するコンテンツとして特に問題がないといえる。その中でも「普通」が多数を占めているのは Learning Together を使いこなすまで頻繁に使用しなかったことや、Learning Together は掲示板の機能を使用するためにはパソコンから文字を入力する必要があるため、キーボードの文字入力にあまり得意ではない児童がいることにも関係すると思われる。パソコンでの文字入力に得意かどうかについてのアンケート結果が図 4.2. 27 キーボードでの文字入力の得意度 (第三小学校児童) である。実際の授業では、キーボードからの文字入力が苦手な児童には、WindowsXP 標準搭載の MS-IME ソフトウェアキーボードを使用させることによってマウス入力を可能にするといった工夫をしている例があった。

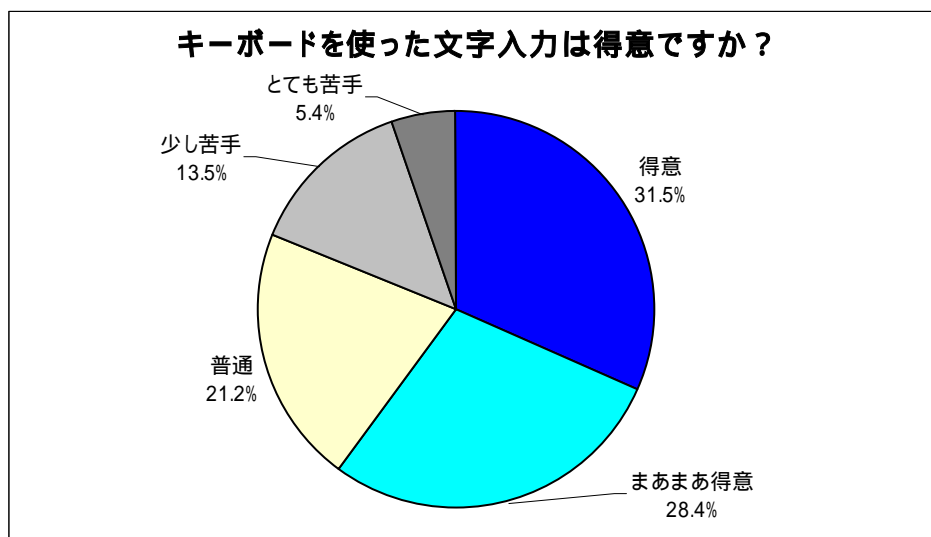


図 4.2. 27 キーボードでの文字入力の得意度 (第三小学校児童)

#### 6) カプタリウム

カプタリウムの操作を行った児童 20 人に「カプタリウムの操作は簡単だったか」と問い合わせたところ、全員がとても簡単だった、との回答であった。

カプタリウムは「遊びやゲームに存在する学習性を引き出すためのしくみ」とうたっているとおり、操作画面が 3D ゲームのような画面である (図 4.2. 17 カプタリウム画面イメージ)。

各ボタンをポイントするとボタンの説明なども大きな字で表示されるため、小学生にも操作しやすいアプリケーションであると言える。

#### 4.2.2.3.3. 各機能の充実度

一般的に無線 LAN システムの利点の一つとして「使いたいところに移動して使う事が出来る」という点がある。この点について教育の現場での有効性を評価する。

まず、第三小学校の児童に教室以外の場所で使用したかどうかについて問い合わせた。その結果が図 4.2. 28 教室以外で超高速無線 LAN システム使用率 (第三小学校児童) である。



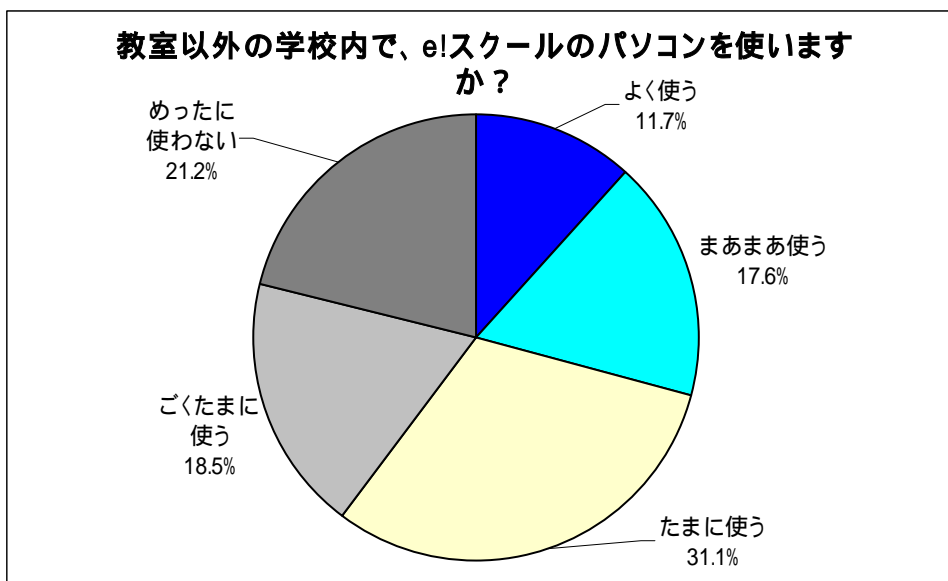


図 4.2. 28 教室以外で超高速無線 LAN システム使用率（第三小学校児童）

次に、何の用途で使用しているかについて問い合わせた。その結果が表 4.2. 6 教室外での超高速無線 LAN 端末の使用用途（第三小学校児童）である。ポケッツ 2 やインターネットなど、超高速無線 LAN システムが非常によく使われている。

表 4.2. 6 教室外での超高速無線 LAN 端末の使用用途（第三小学校児童）

システム名	人数 (複数回答)
ポケッツ 2	122
Learning Together	23
カプタリウム	24
ネットフォン	96
インターネット(調べ学習)	148
メール	4
ホームページ作成	50
その他	90

また、超高速無線 LAN 端末を教室以外の学校内のどこで使っているかについて問い合わせた。結果は表 4.2. 7 学校内での超高速無線 LAN 端末使用場所（第三小学校児童）である。この選択肢にある場所は現在超高速無線 LAN システムが使用可能な場所である。

表 4.2. 7 学校内での超高速無線 LAN 端末使用場所（第三小学校児童）

教室	
図書室	21.6%
理科室	7.7%
体育館	0.9%
視聴覚室	27.5%
多目的室	9.9%
その他	32.4%

そして、超高速無線 LAN 端末を使いたい場所がどこかについて問い合わせた。結果が図 4.2. 29 超高速無線 LAN システムを使いたい場所（第三小学校児童）である。一番希望が多いのは図書館であり、すでに超高速無線 LAN システムが導入されているため活用している児童も多い。以下のグラフを見ると、全ての教室で超高速無線 LAN システムの導入を希望している様子が分かる。それだけ超高速無線 LAN システムへの期待は大きく、有効であると考えられていることが分かる。

また先にも述べたが、家にパソコンを友人宅や市施設に持ち出して使用している児童もおり（図 4.2. 23 持ち帰ったパソコンの利用シーン参照）、学区内での超高速無線 LAN システムの拡充も重要といえる。

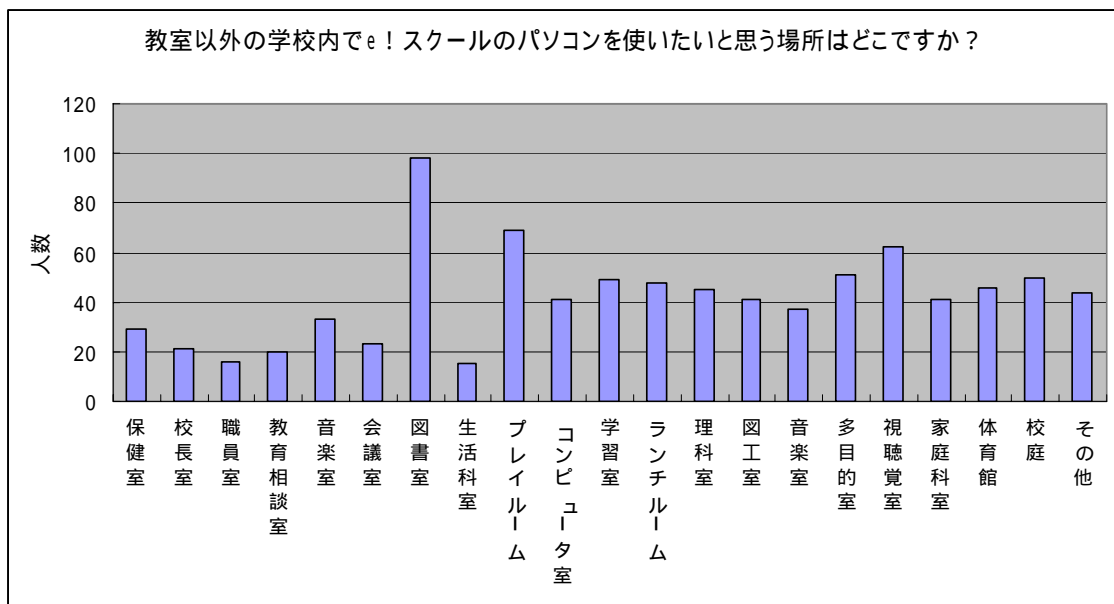


図 4.2. 29 超高速無線 LAN システムを使いたい場所（第三小学校児童）

第四中学校の生徒に、教室以外の学校内で e!スクールのパソコンを使うかどうかにつ

いて問い合わせた。その結果が図 4.2. 30 教室以外で超高速無線 LAN システム使用率（第四中学校生徒）である。

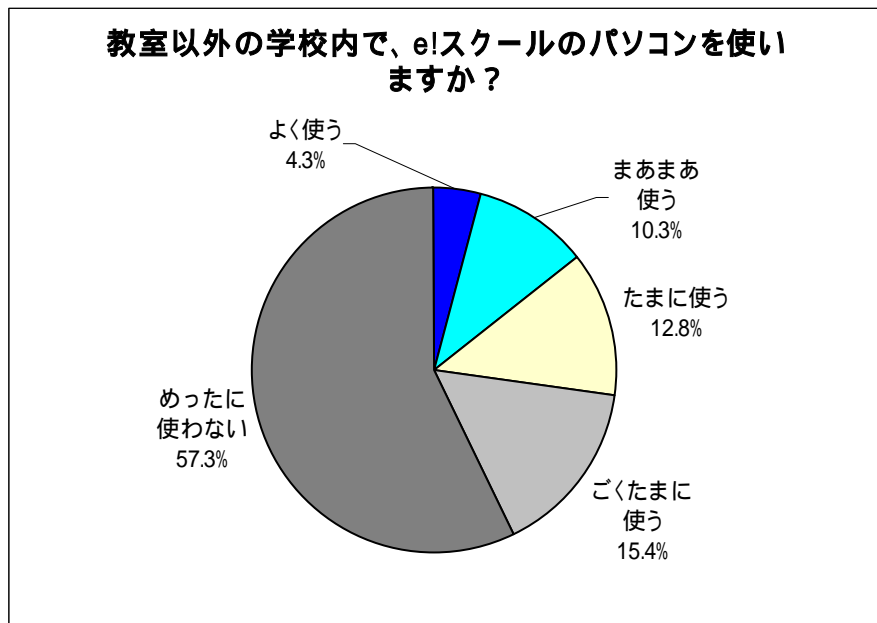
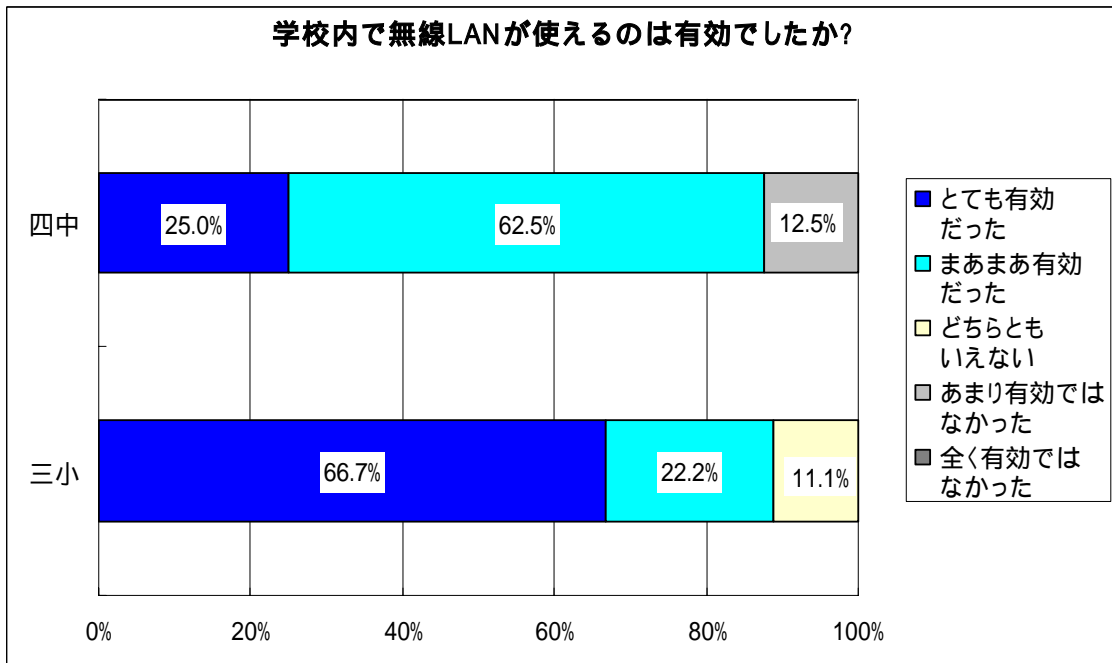


図 4.2. 30 教室以外で超高速無線 LAN システム使用率（第四中学校生徒）

4.2.2.3.1. 利用頻度の項目においてにて前述したが、第四中学校では不公平感の問題に対応した使用方法をしていたと考えられるため上記の結果となっている。

第三小学校、第四中学校の先生に超高速無線 LAN システムが有効であったかどうかについて問い合わせた結果が図 4.2. 31 学校での超高速無線 LAN の有効性である。



**図 4.2. 31 学校での超高速無線 LAN の有効性**

全体的に「有効だった」との意見が 88.3%と大多数をしめた。「あまり有効ではなかった」との回答の理由に「無線 LAN 端末の故障などのトラブルにより授業時間が無駄になってしまうこともあった」ことがあげられていた。

超高速無線 LAN システムで障害が起こると、ポケッツ 2 や調べ学習なども出来なくなってしまい、非常に影響が大きい。第三小学校、第四中学校の先生に、障害が起こった際どう対応したかについて問い合わせた結果が図 4.2. 32 トラブル時の対応方法(先生)である。

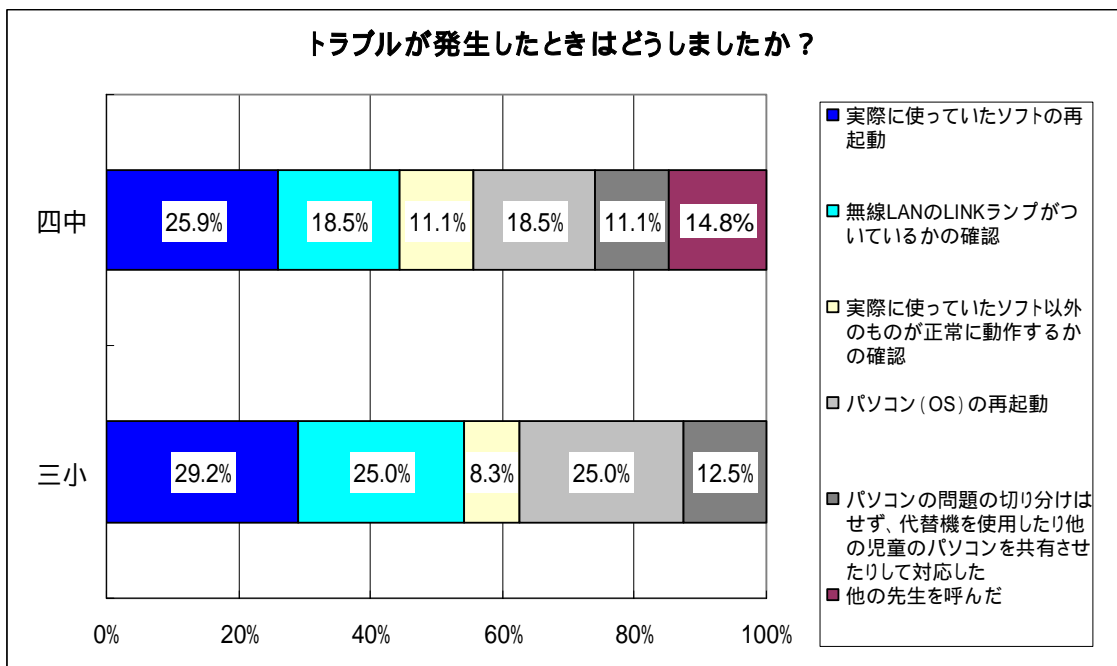


図 4.2. 32 トラブル時の対応方法（先生）

ソフトや OS の再起動、無線 LAN カードが正常に動作しているかの確認など、すぐに直る可能性のあることを実行している。その他にはドリルを傍らに置いておき、パソコンのトラブルが起こったらドリルを使うようにして時間が無駄にならないような工夫があったようだ。

パソコンを共有させることが出来る授業であればまだよいが、ポケッツ 2 のようなユーザーが操作をし続けるようなアプリケーションの場合、一人一台のパソコンが動作しないと授業の公平性を保つ事が出来ないという問題がでてくる。重要なツールとして利用されるからこそ、安定動作やいざというときの代替手段が必要となってくる。

第三小学校児童、第四中学校生徒に、パソコンのエラーなどで困ったことはどのくらいあったかについて問い合わせた結果を図 4.2. 33 e!パソコンのエラーで困った頻度（第三小学校児童）と、図 4.2. 34 e!パソコンのエラーで困った頻度（第四中学校生徒）に示す。

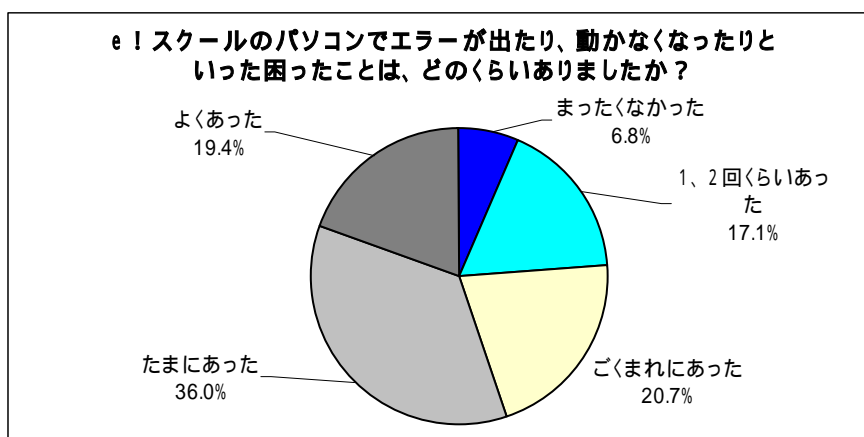


図 4.2. 33 e!パソコンのエラーで困った頻度（第三小学校児童）

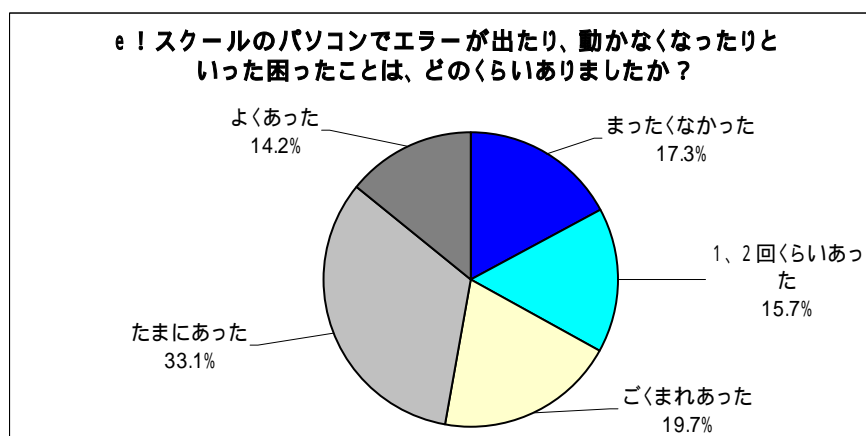


図 4.2. 34 e!パソコンのエラーで困った頻度（第四中学校生徒）

第三小学校と第四中学校では、パソコンを使っている回数が異なるため、単純に比較することは出来ない。第三小学校児童でも、第四中学校生徒でも約半数が「たまに困った」「よく困った」という回答が出ている。

また、児童、生徒の希望として、「エラーをなくして欲しい」「ポケッツ 2 が出てこないことがあるので直して欲しい」などの意見がアンケートに書かれていた。このような要望を解決するためには、障害が起こってもすぐに交換できるように予備の機器を準備することや、信頼性が高く実績のある機器を使うことが必要である。

#### 4.2.2.4. 考察

超高速無線 LAN システムは特に第三小学校学校内で大変多く使用され、有効なシステムであったといえる。どこでもネットワークに繋がるという点が高く評価され、本当にどこでも使えるようにして欲しいという要望も高かった。しかし、様々な機能をもつ点では優れているパソコンではあるが大人が使用する視点で作られているため、OS が表示するメッセージの内容が難しかったり、エラーが出たりといった障害に悩まされたのも事実である。小学生の文房具のひとつとして、子供がストレス無く使用するためにはもう少し機能を限定し、信頼性の高い機器機器を使用する必要があると考えられる。

### 4.2.3. 超高速無線 LAN システムの外部アンテナの基本性能に関する検証

#### 4.2.3.1. 概要

超高速無線 LAN のアクセスポイント装置及び、モバイルターミナル装置による通信に関して外部アンテナの基本性能を検証する。

#### 4.2.3.2. 検証方法

第三小学校校庭及び周辺の無線通信に対する障害が少ない環境にて、超高速無線 LAN アクセスポイント装置に外部アンテナを接続した場合の基本的な性能を測定するための検証を行う。同時に超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に外部アンテナを接続した場合についても検証を行う。また、屋外での使用を想定して天候による影響を検証する。

#### 4.2.3.2.1. 検証機器

検証を行う際に使用した機器は以下の通りである。

##### 1) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置

機器名：バッファロー製

WLM2-G54

##### 2) 超高速無線 LAN 検証用端末

機器名：Panasonic 製

Let's note CF-R1

OS：Windows XP Professional

CPU：Pentium3 866MHz

RAM：256MB

##### 3) 超高速無線 LAN モバイルターミナル装置

機器名：WLI-CB-G54(バッファロー製)



4) 屋外用無指向性アンテナ

機器名：WLE-HG-NDC(バッファロー製)

偏波方式：垂直偏波

アンテナ利得：絶対利得 7dBi (アンテナコネクタ端)

指向性：垂直面半値角  $15 \pm 5^\circ$  水平面偏差 0.5dB 以下

アンテナ外観を図 4.2. 35 屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)に示す。



図 4.2. 35 屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)

指向特性を、図 4.2. 36 WLE-HG-NDC 指向特性図(垂直偏波水平面)及び  
図 4.2. 37 WLE-HG-NDC 指向特性図(垂直偏波垂直面)に示す。

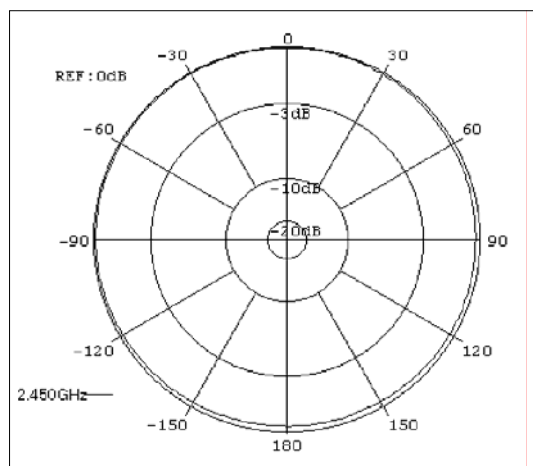


図 4.2. 36 WLE-HG-NDC 指向特性図(垂直偏波水平面)

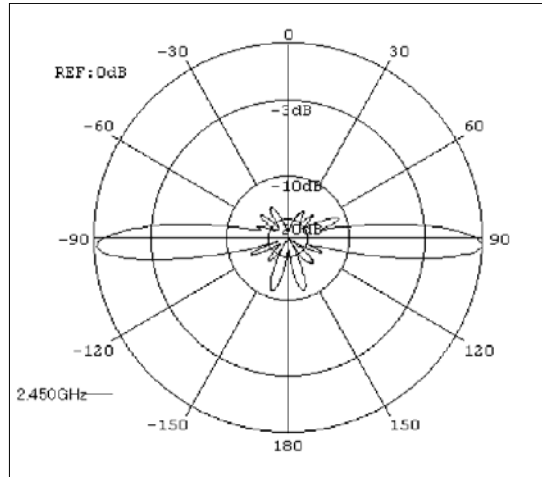


図 4.2. 37 WLE-HG-NDC 指向特性図(垂直偏波垂直面)

5) 屋外用広指向性アンテナ

機器名：WLE-HG-DA(バッファロー製)

偏波方式：垂直偏波

アンテナ利得：絶対利得 9dbi 以上(アンテナ単体)

指向性：垂直面 半値角  $58 \pm 5^\circ$ 、水平面 半値角  $65 \pm 5^\circ$

アンテナの外観を図 4.2. 38 屋外用広指向性アンテナ(WLE-HG-DA)に示す。



図 4.2. 38 屋外用広指向性アンテナ(WLE-HG-DA)

指向特性を、図 4.2. 39 WLE-HG-DA 指向特性図(垂直偏波水平面)及び図 4.2. 40 WLE-HG-DA 指向特性図(垂直偏波垂直面)に示す。

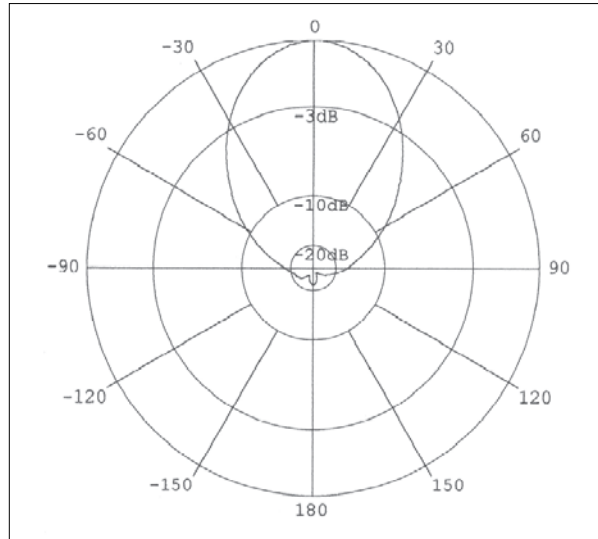


図 4.2. 39 WLE-HG-DA 指向特性図(垂直偏波水平面)

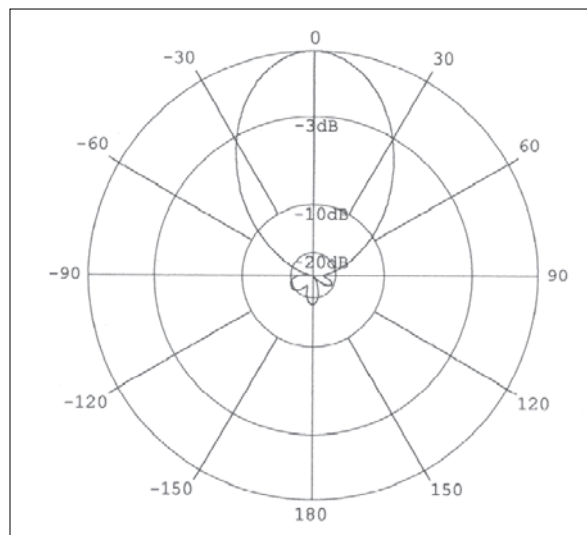


図 4.2. 40 WLE-HG-DA 指向特性図(垂直偏波垂直面)

6) 屋外用指向性アンテナ

機器名：WLE-HG-DYG(バッファロー製)

偏波方式：垂直偏波

アンテナ利得：絶対利得 14dbi (アンテナコネクタ端)

指向性：垂直面半値角  $32 \pm 5^\circ$  水平面半値角  $32 \pm 5^\circ$

アンテナの外観を図 4.2. 41 屋外用指向性アンテナ(WLE-HG-DYG)に示す。



図 4.2. 41 屋外用指向性アンテナ(WLE-HG-DYG)

指向特性を、図 4.2. 42 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波水平面)及び図 4.2. 43 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波垂直面)に示す。

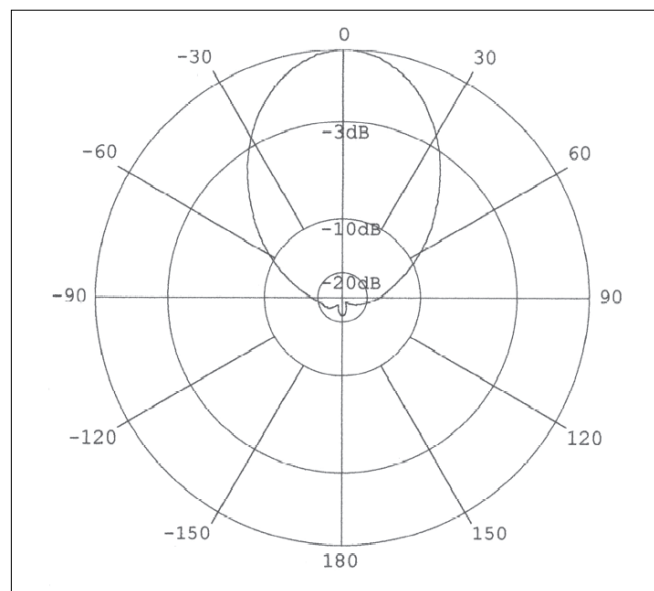


図 4.2. 42 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波水平面)

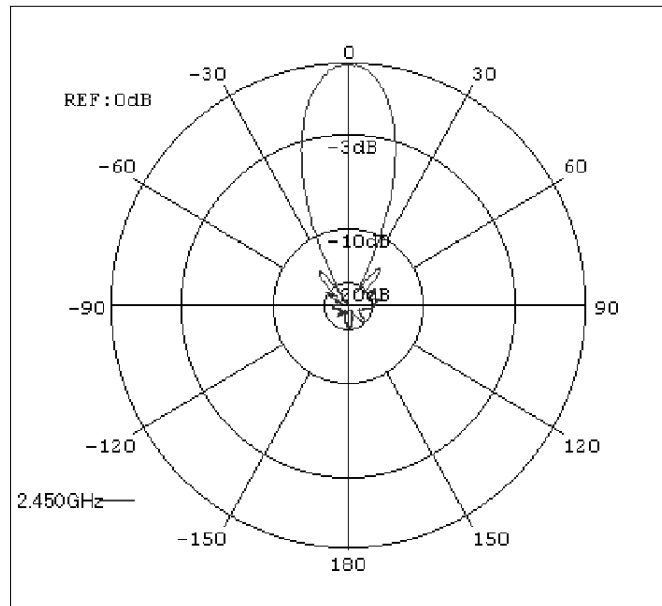


図 4.2. 43 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波垂直面)

7) 屋内用無指向性アンテナ

機器名：WLE-NDR(バッファロー製)

偏波方式：垂直偏波

アンテナ利得：絶対利得 2dbi 以上(ケーブル損失分は含まず)

アンテナの外観を図 4.2. 44 屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)に示す。



図 4.2. 44 屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)

指向特性を、図 4.2. 45 WLE-NDR 指向特性図(垂直偏波水平面)及び図 4.2. 46 WLE-NDR 指向特性図(垂直偏波垂直面)に示す。

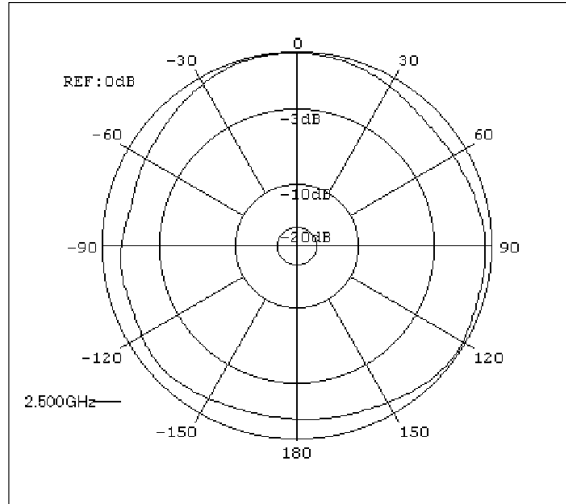


図 4.2. 45 WLE-NDR 指向特性図(垂直偏波水平面)

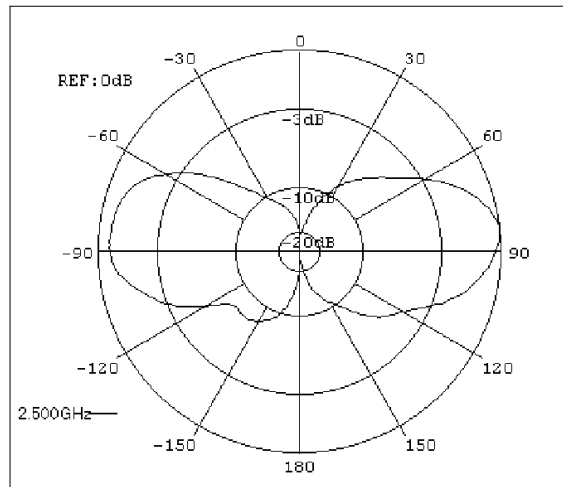


図 4.2. 46 WLE-NDR 指向特性図(垂直偏波垂直面)

8) 屋内用広指向性アンテナ

機器名：WLE-DA(バッファロー製)

アンテナ利得：絶対利得 4dbi 以上(ケーブル損失分を含む)

アンテナの外観を図 4.2. 47 屋内用広指向性アンテナ(WLE-DA)に示す。



図 4.2. 47 屋内用広指向性アンテナ(WLE-DA)

指向特性を、図 4.2. 48 WLE-DA 指向特性図(垂直偏波水平面)及び図 4.2. 49 WLE-DA 指向特性図(垂直偏波垂直面)に示す。

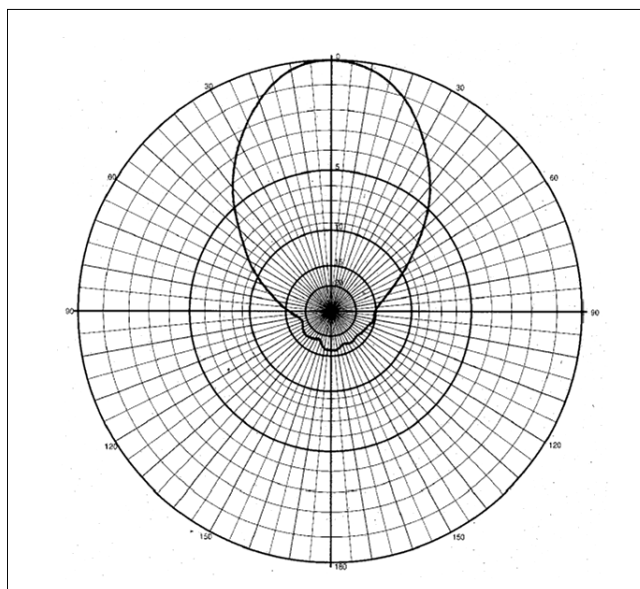


図 4.2. 48 WLE-DA 指向特性図(垂直偏波水平面)

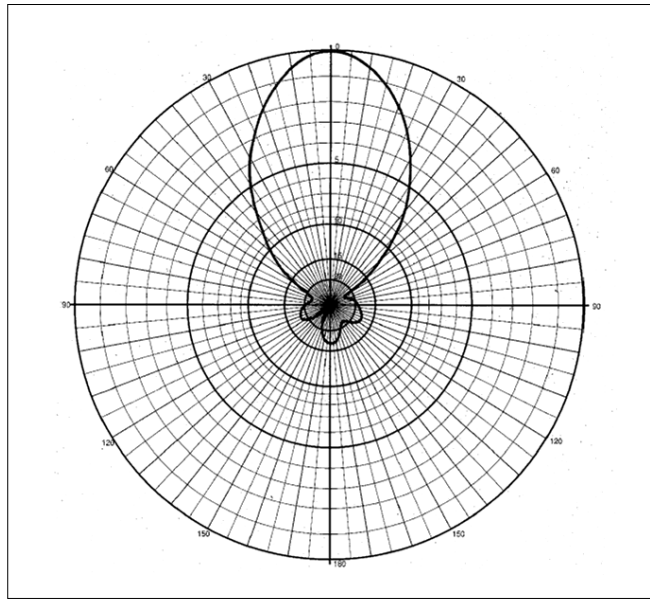


图 4.2. 49 WLE-DA 指向特性图(垂直偏波垂直面)



#### 4.2.3.2.2.各検証方法

各外部アンテナの基本的性能を検証するため以下を行った。

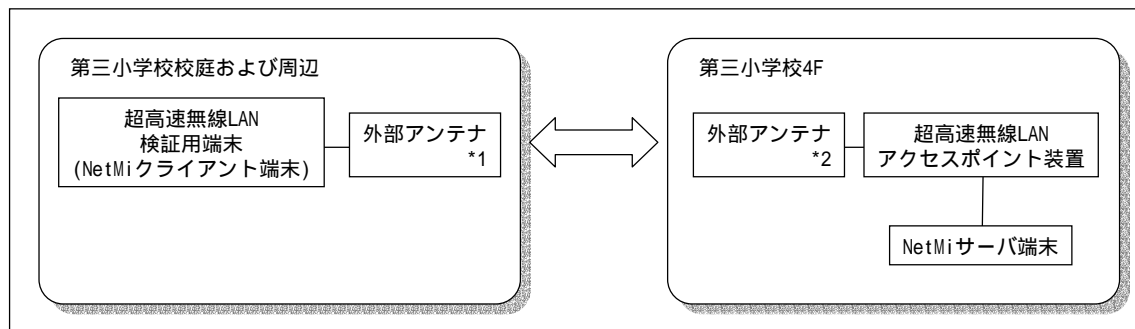
- 1) スループット、フレームスピードと電波強度の測定
- 2) 最大接続距離の測定
- 3) 電波強度測定による指向特性の測定

以下の4.2.3.2.3~4.2.3.2.5に各検証方法の詳細を示す。

#### 4.2.3.2.3.スループット、フレームスピード及び電波強度の測定

##### 1) スループット測定

超高速無線 LAN システムの通信速度を測定するために、図 4.2. 50 スループット測定 構成図のような構成で検証を行った。



- ・超高速無線LAN検証用端末には無線LANモバイルターミナル装置を含む
- ・外部アンテナ\*1  
屋外用無指向性アンテナ、屋外用広指向性アンテナ、屋外用指向性アンテナ  
屋内用無指向性アンテナ、屋内用広指向性
- ・外部アンテナ\*2  
屋内用無指向性アンテナ、屋内用広指向性アンテナ

図 4.2. 50 スループット測定 構成図

超高速無線 LAN システムの通信速度を NetMi を使用して測定した。

ア . NetMi について

2 台の端末の間の通信速度を送信するパケット長や送信時間、送信データ量を指定して送信し、その瞬間通信速度と平均通信速度を算出するツールである。

## イ . 設定方法

- 1 図 4.2. 50 スループット測定 構成図の NetMi サーバ端末で NetMi を起動し、バインドするアダプターの IP アドレスを設定し続いて相手の IP アドレスを設定。
- 2 データサイズを指定する。
- 3 UDP パケットを送信するにチェックをつける。
- 4 サーバとして動作するにチェックをつける(図 4.2. 51 NetMi サーバ画面)。
- 5 クライアント側超高速無線 LAN 検証端末で NetMi を起動し、バインドするアダプターの IP アドレスを設定し続いて相手の IP アドレスを設定。
- 6 データサイズを指定する。
- 7 UDP パケットを送信するにチェックをつける。
- 8 一定時間送信を行うにチェックをつける。送信時間の指定を行う。
- 9 送信開始ボタンをクリックする(図 4.2. 52 NetMi クライアント画面)。

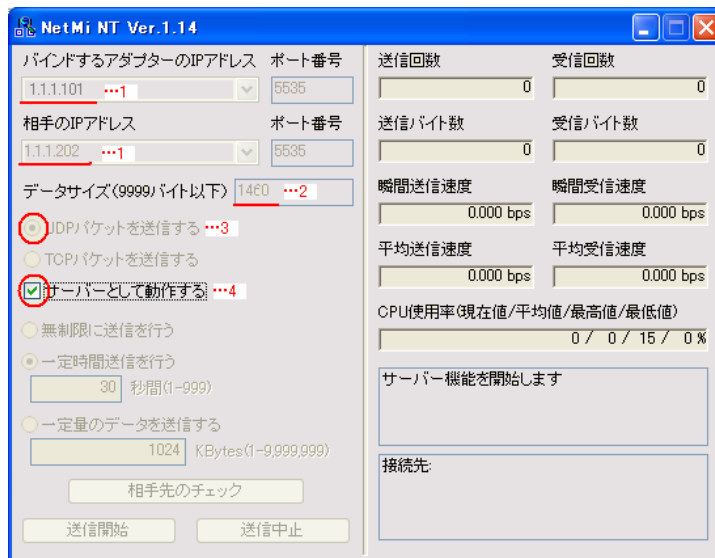


図 4.2. 51 NetMi サーバ画面

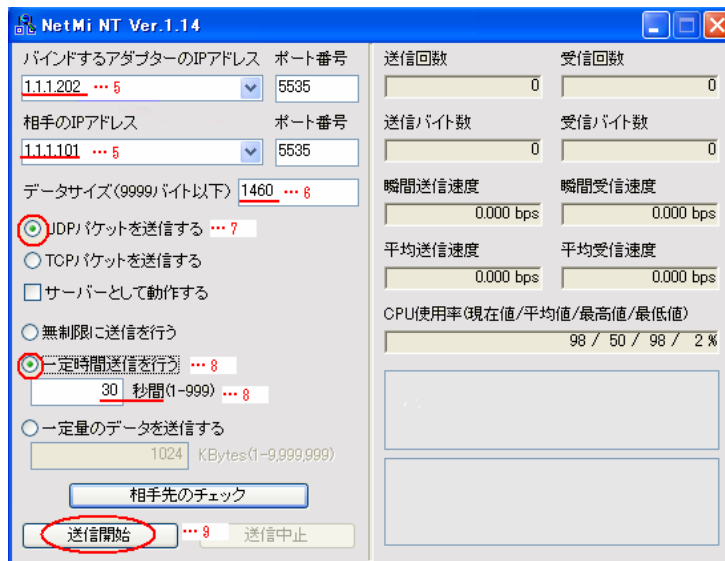


図 4.2. 52 NetMi クライアント画面

#### ウ．測定方法

図 4.2. 55 第三小学校計測地点図の Point1～Point5 において、NetMi を用いて UDP パケット(64Byte 及び 1460Byte)を 30 秒間、5 回づつ送信する。その平均送信速度の数値を測定する。

## 2) フレームスピード及び電波強度の測定

超高速無線 LAN システムのフレームスピード及び電波強度を測定するために、AirMagnet アナライザを使用し測定した。

また、AirMagnet アナライザは、専用の無線 LAN モバイルターミナル装置を使用することが必要なため外部アンテナを接続することができない。そのため、外部アンテナ\*2 及び屋外用無指向性アンテナ、屋外用広指向性アンテナ、屋外用指向性アンテナを超高速無線 LAN アクセスポイント装置側に接続した場合の測定のみを行った。

#### ア．AirMagnet アナライザとは

AirMagnet 社製の超高速無線 LAN の管理、診断ツール等からなるアプリケーションで次のような機能を備えている。

- ・ 超高速無線LANの管理
- ・ 超高速無線LAN導入にあたってのサイト・サーベイ
- ・ パフォーマンス・マネージメント

## イ．設定方法

- 1 AirMagnet アナライザを起動させ Tools 画面を開く。(図 4.2. 53 AirMagnet アナライザスタート画面)
- 2 計測目標の超高速無線 LAN を選択後サーベイ機能スタートボタンをクリックする。(図 4.2. 54 AirMagnet アナライザ Tools 画面)

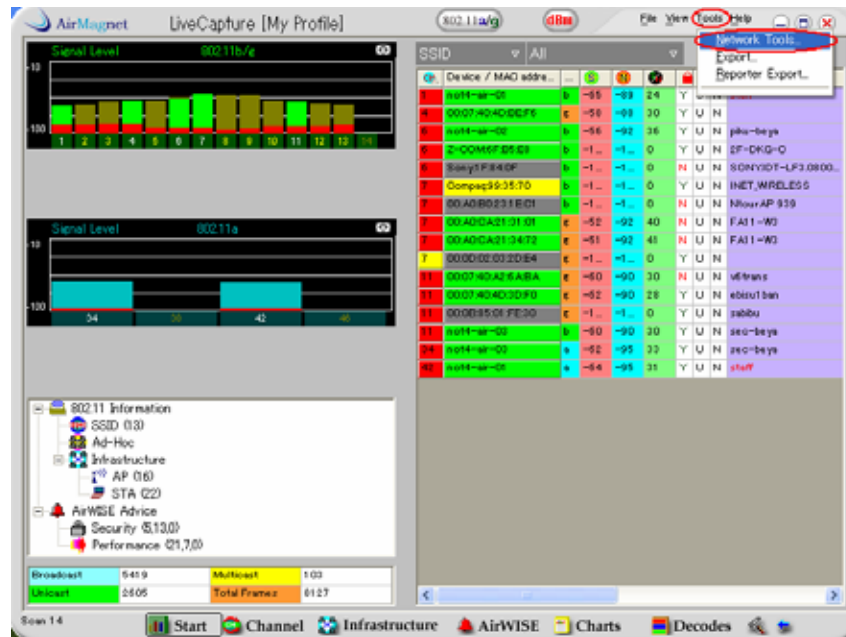


図 4.2. 53 AirMagnet アナライザスタート画面

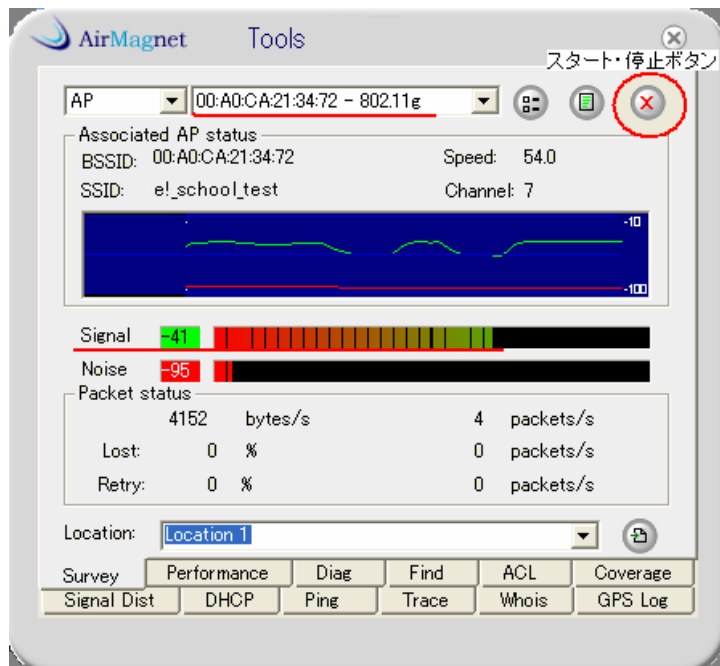


図 4.2. 54 AirMagnet アナライザ Tools 画面

#### ウ．測定方法

超高速無線 LAN 検証端末を図 4.2. 55 第三小学校計測地点図の Point1 の真下から Point5 まで一定の速度で移動させ、フレームスピード及び電波強度を測定する。

### 3) 測定ポイント

検証を行う第三小学校の近隣地図及び検証計測地点は図4.2.55 第三小学校計測地点図のとおりである。

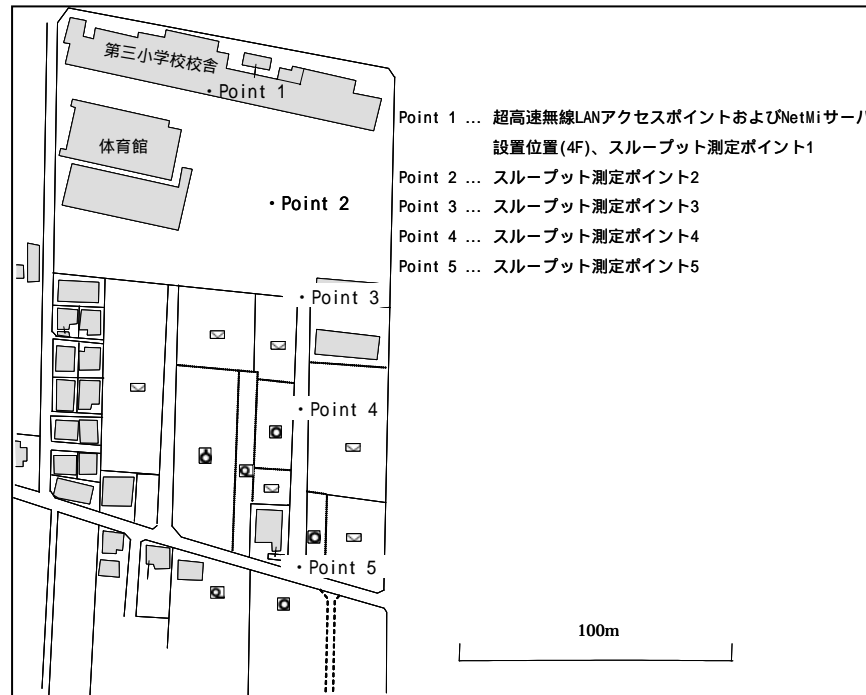


図4.2.55 第三小学校計測地点図

#### 4) 外部アンテナ組み合わせ

上記の検証を行う際の超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に接続する外部アンテナの組み合わせは表 4.2. 8 外部アンテナ組み合わせ表の通りである。

表 4.2. 8 外部アンテナ組み合わせ表

*1: AP側 *2: PC側	内臓アンテナ	屋内用無指向性アンテナ	屋内用指向性アンテナ	屋外用無指向性アンテナ	屋外用広指向性アンテナ	屋外用指向性アンテナ
内臓アンテナ	検証1	検証7	検証13	検証19	検証25	検証31
屋内用無指向性アンテナ	検証2	検証8	検証14	検証20	検証26	検証32
屋内用指向性アンテナ	検証3	検証9	検証15	検証21	検証27	検証33
屋外用無指向性アンテナ	検証4	検証10	検証16	検証22	検証28	検証34
屋外用広指向性アンテナ	検証5	検証11	検証17	検証23	検証29	検証35
屋外用指向性アンテナ	検証6	検証12	検証18	検証24	検証30	検証36

\*1: 超高速無線 LAN アクセスポイント装置

\*2: 超高速無線 LAN 検証端末

なお、各屋外用外部アンテナに接続する同軸ケーブルは TELEC 適合規格に基づき以下の組み合わせで使用した。

表 4.2. 9 外部アンテナ-同軸ケーブル組み合わせ

アンテナ種類	同軸ケーブル
屋外用無指向性アンテナ (WLE-HG-NDC)	WLE-CC5 (5m)
屋外用広指向性アンテナ (WLE-HG-DA)	WLE-CC10 (10m)
屋外用指向性アンテナ (WLE-HG-DYG)	WLE-CC20 (20m)

#### 4.2.3.2.4. 最大接続距離の測定

超高速無線 LAN アクセスポイントの内蔵アンテナ、または外部アンテナを接続し、超高速無線 LAN 検証端末を超高速無線 LAN アクセスポイント装置から接続できる最大の距離まで移動し、その地点での通信速度を測定した。通信速度を測定する上で、FTP によるファイル転送をおこない、FTP サーバソフトウェアのログファイルに記録された平均ス

ループットを評価した。FTP サーバソフトウェアとして「WarFTPd 1.8.2」、FTP クライアントソフトウェアとして「FFFTP 1.9.2」を使用した。本検証の機器構成は図 4.2. 56 最大接続距離測定図のとおりである。

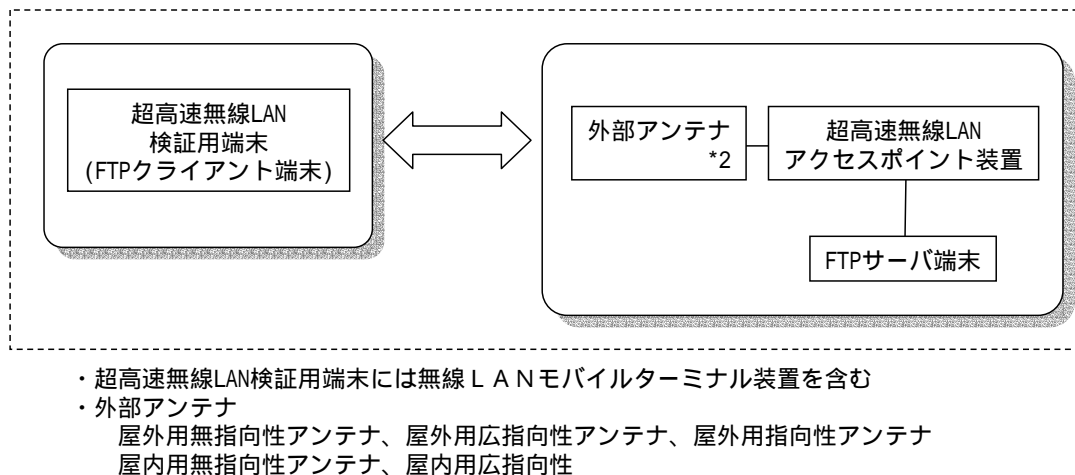


図 4.2. 56 最大接続距離測定図

使用した FTP サーバ及び FTP クライアントソフトウェアの詳細は以下である。

1) WarFTPd 1.8.2

WindowsOS上で動作するFTPサーバソフトウェアで、GNU General Public License (GNU GPL<sup>1</sup>) の下で無償配付されている。

2) FFFTP 1.9.2

WindowsOS上で動作するFTPクライアントソフトウェアである。フリーソフトウェアで著作権者である曾田純氏(<http://www2.biglobe.ne.jp/~sota/ffftp.html>)のもとで自由に使用することができる。

4.2.3.2.5. 電波強度測定による指向特性の測定

各外部アンテナ及び超高速無線LANアクセスポイント装置内蔵アンテナの指向特性を測定するため、以下のような検証を行った。

<sup>1</sup> <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html> 参照。



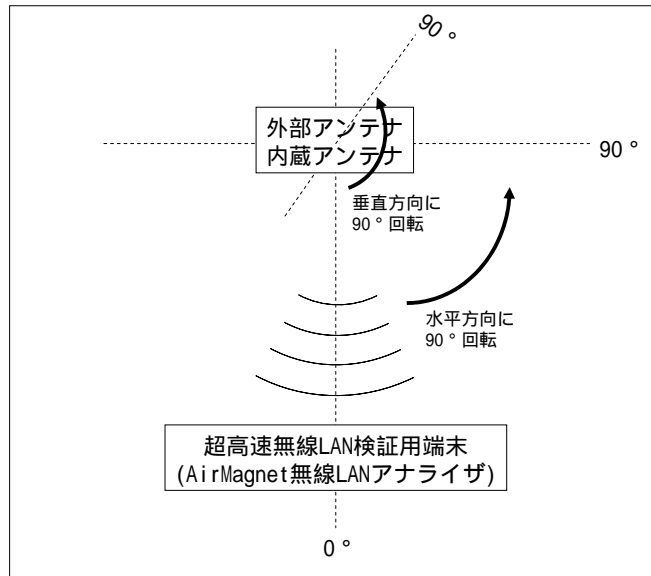


図 4.2. 57 アンテナ指向性検証図

- 1) 各外部アンテナを超高速無線 LAN 検証用端末(AirMagnet 無線 LAN アナライザ)に最も指向性の高い方向を向ける。超高速無線 LAN アクセスポイント装置内蔵のアンテナの場合は、壁掛け位置と同じように設置し、LED ランプのついている面を超高速無線 LAN 検証用端末(AirMagnet 無線 LAN アナライザ)に向ける。この方向を 0° とする。
- 2) 無指向性アンテナの場合は垂直方向上方に回転させる。広指向性アンテナ、指向性アンテナ、超高速無線 LAN アクセスポイント装置内蔵のアンテナの場合は垂直方向上方及び水平方向右方にそれぞれ回転させる。
- 3) 外部アンテナの場合は 90° まで、超高速無線 LAN アクセスポイント装置内蔵のアンテナの場合は 180° まで回転角度 10° ごとに AirMagnet 無線 LAN アナライザで電波強度を測定する。

### 4.2.3.3. 検証結果

#### 4.2.3.3.1. スループット測定

NetMi を使用してスループットを5回測定した値の平均をまとめたものをグラフにて示した。

- 1) 検証 1～6 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 58 検証結果 1～6(1460Byte)及び図 4.2. 59 検証結果 1～6(64Byte)に示す。

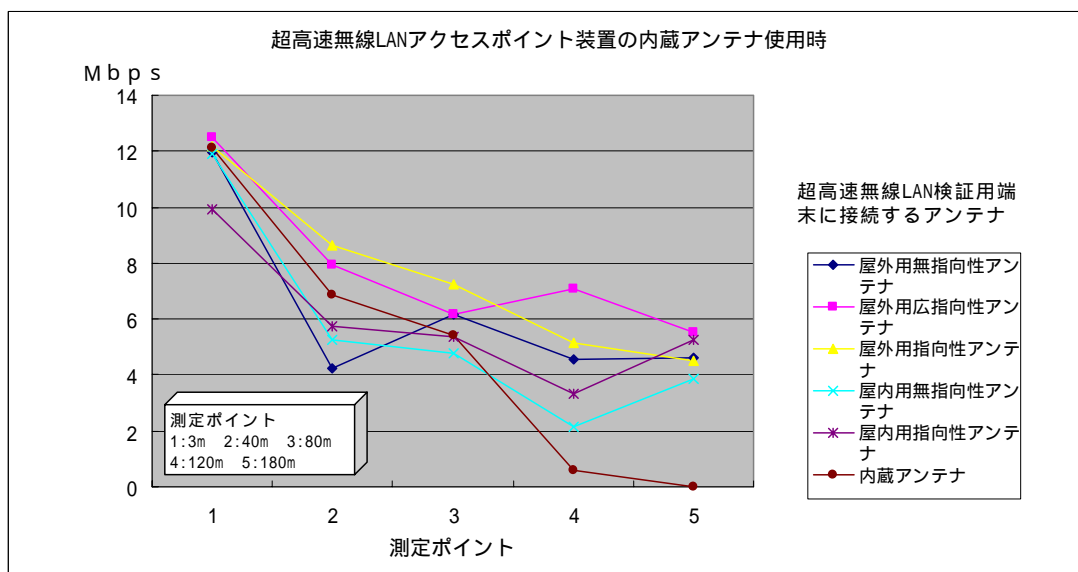


図 4.2. 58 検証結果 1～6(1460Byte)

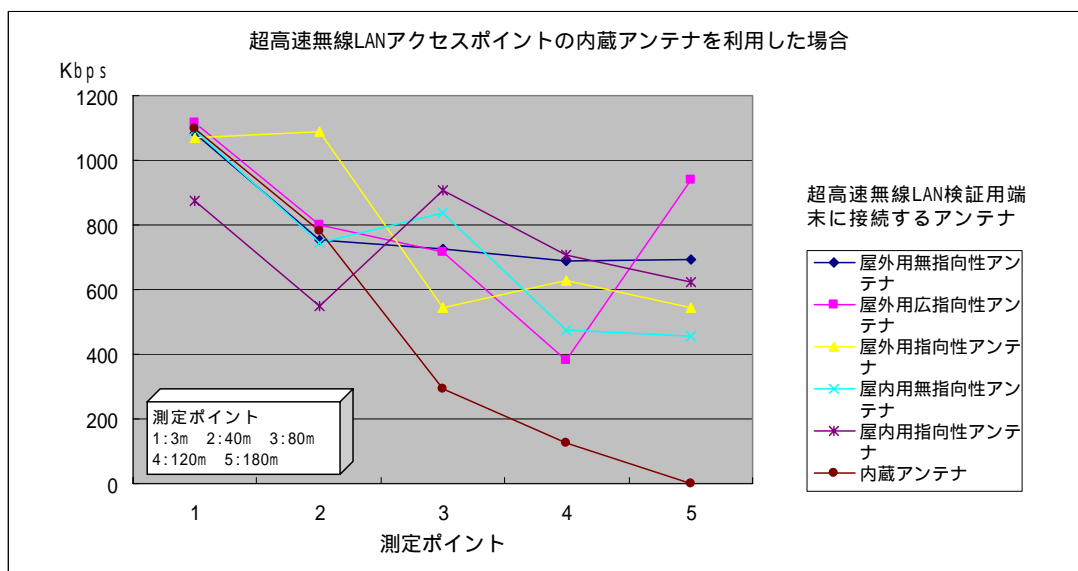


図 4.2. 59 検証結果 1～6(64Byte)

2) 検証 7~12 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 60 検証結果 7~12(1460Byte)及び図 4.2. 61 検証結果 7~12(64Byte)に示す。

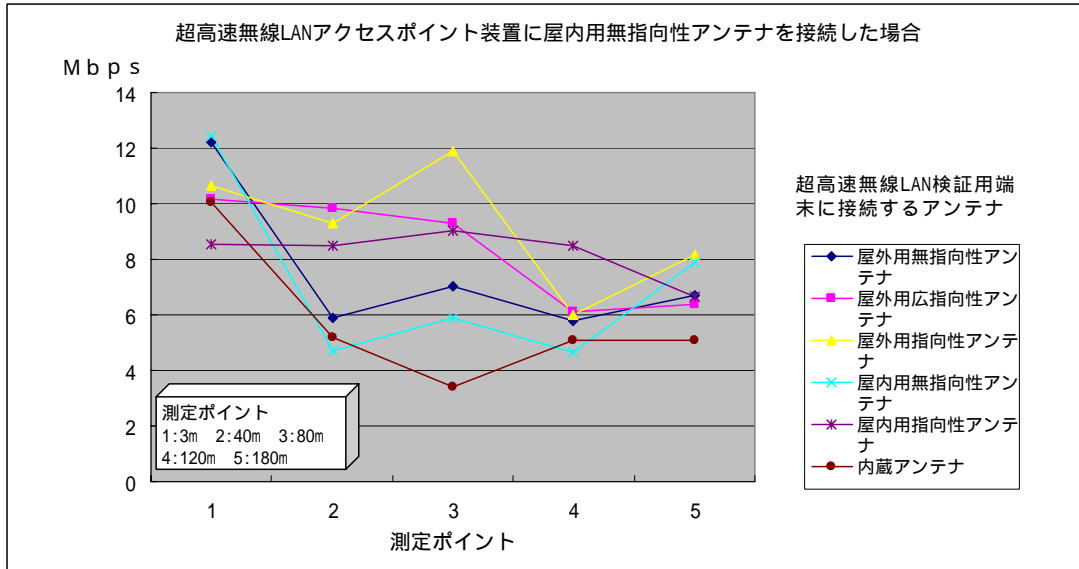


図 4.2. 60 検証結果 7~12(1460Byte)

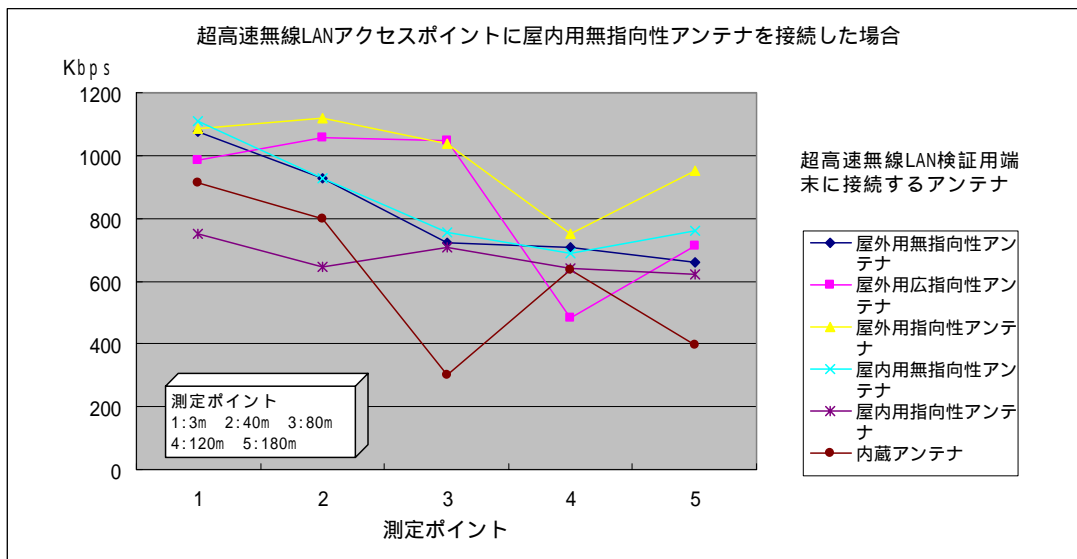


図 4.2. 61 検証結果 7~12(64Byte)

3) 検証 13～18 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 62 検証結果 13～18(1460Byte)及び図 4.2. 63 検証結果 13～18(64Byte)に示す。

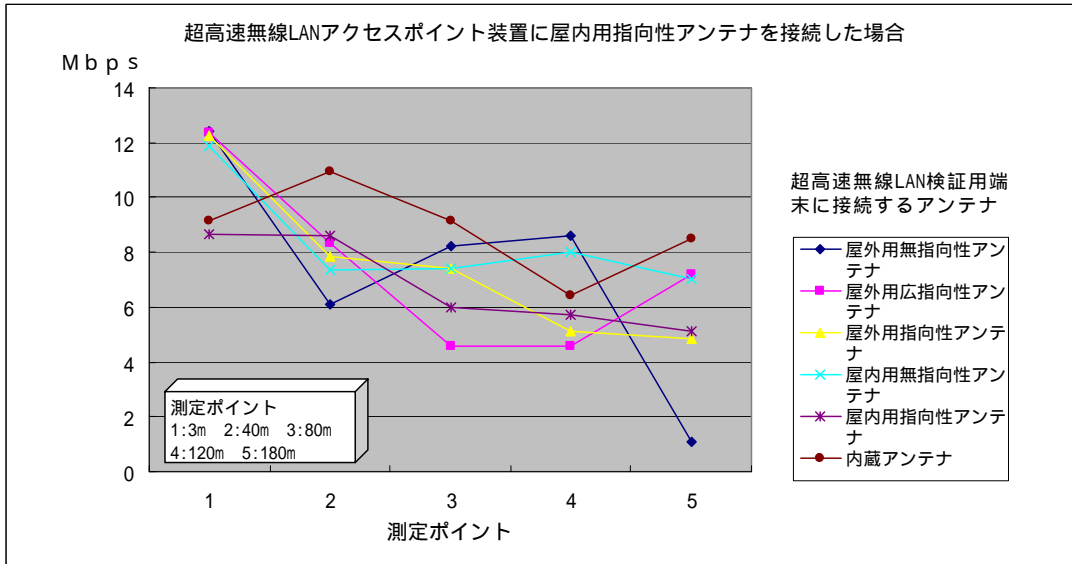


図 4.2. 62 検証結果 13～18(1460Byte)

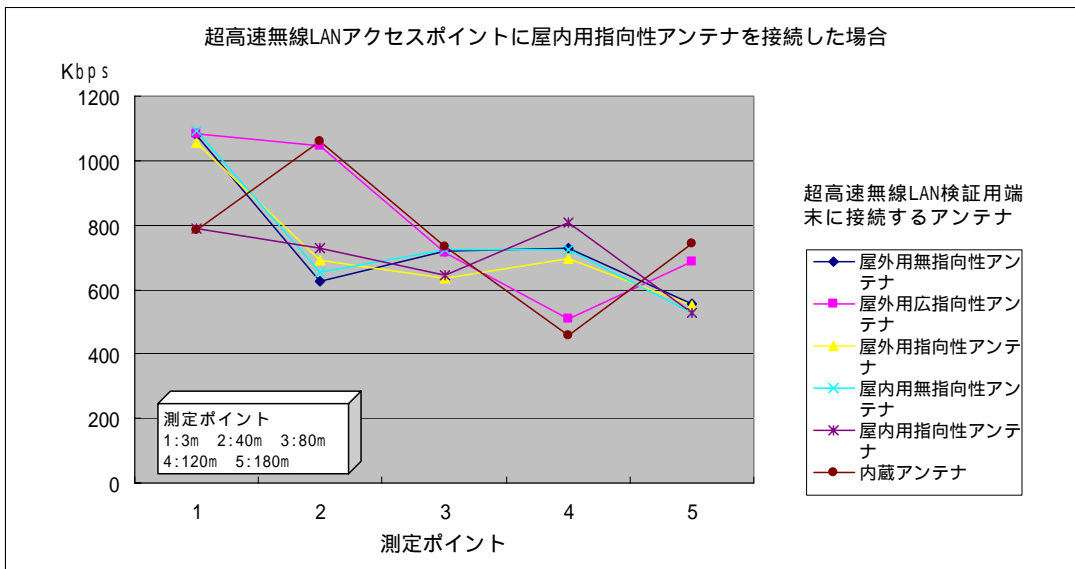


図 4.2. 63 検証結果 13～18(64Byte)

- 4) 検証 19～24 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 64 検証結果 19～24(1460Byte)及び図 4.2. 65 検証結果 19～24(64Byte)に示す。

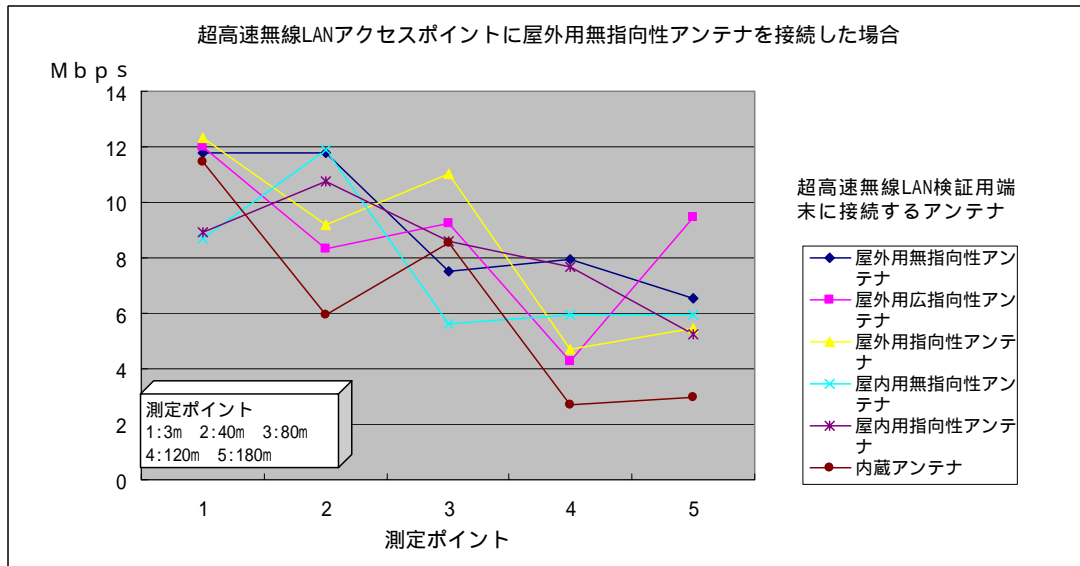


図 4.2. 64 検証結果 19～24(1460Byte)

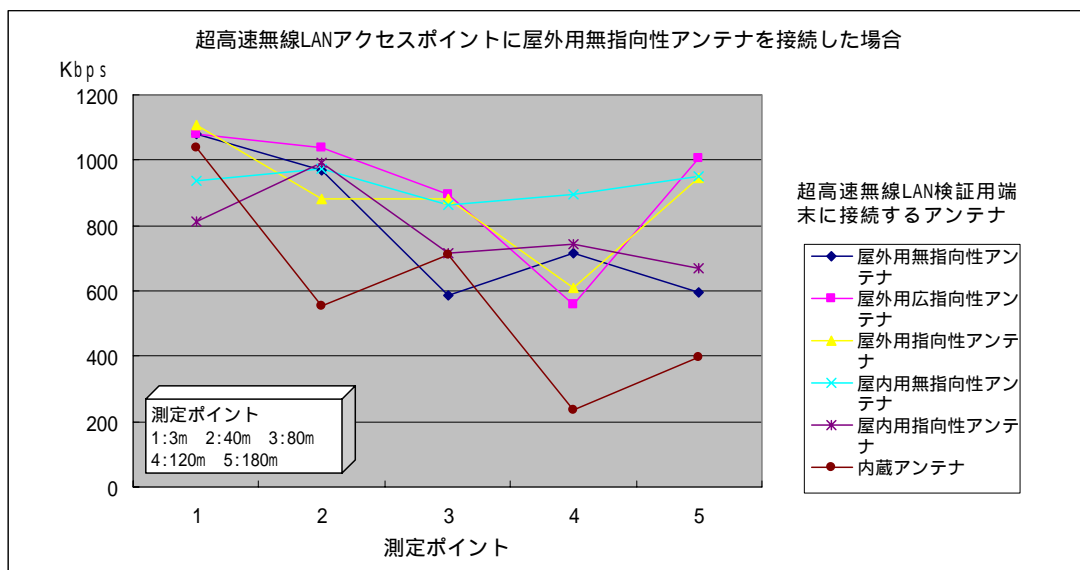


図 4.2. 65 検証結果 19～24(64Byte)

5) 検証 25 ~ 30 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 66 検証結果 25 ~ 30(1460Byte)及び図 4.2. 67 検証結果 25 ~ 30(64Byte)に示す。

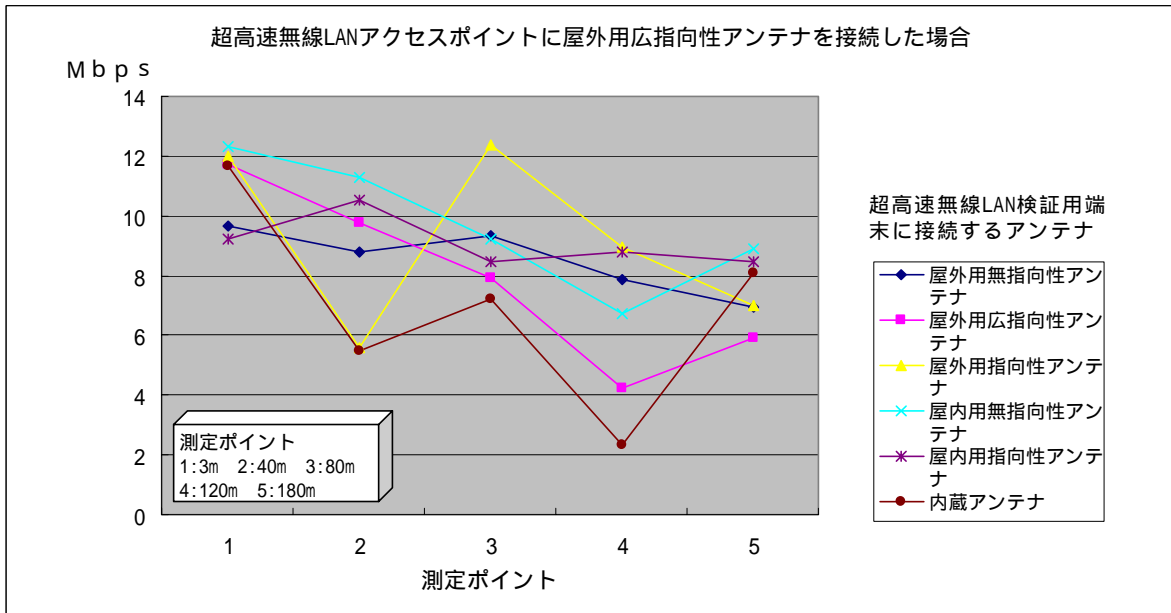


図 4.2. 66 検証結果 25 ~ 30(1460Byte)

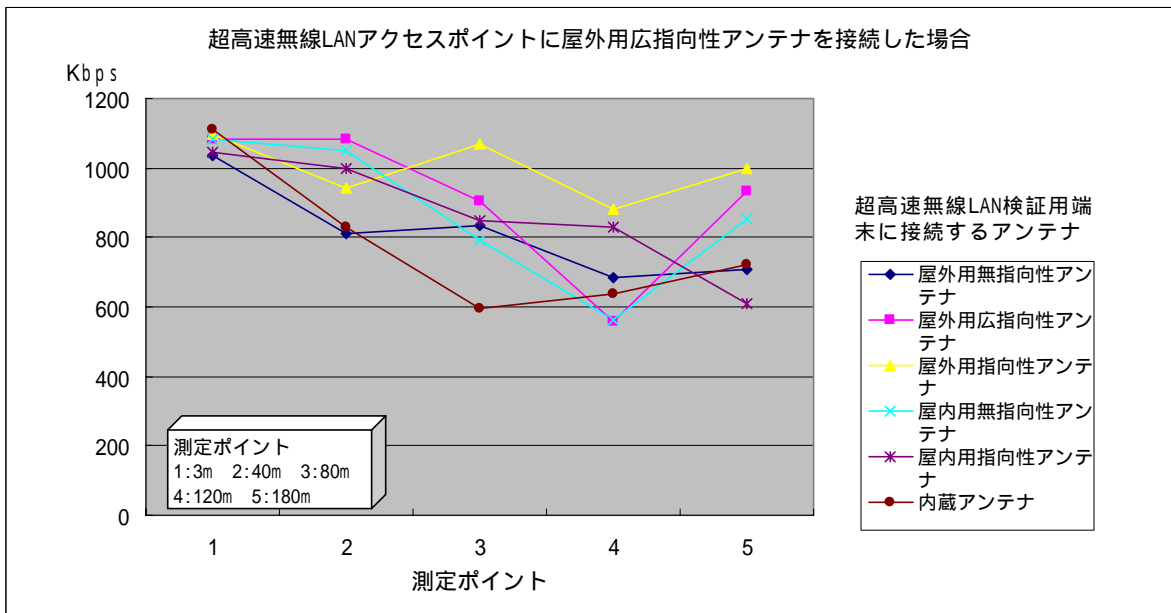


図 4.2. 67 検証結果 25 ~ 30(64Byte)

6) 検証 31～36 までの検証結果をグラフにまとめたものを図 4.2. 68 検証結果 31～36(1460Byte)及び図 4.2. 69 検証結果 31～36(64Byte)に示す。

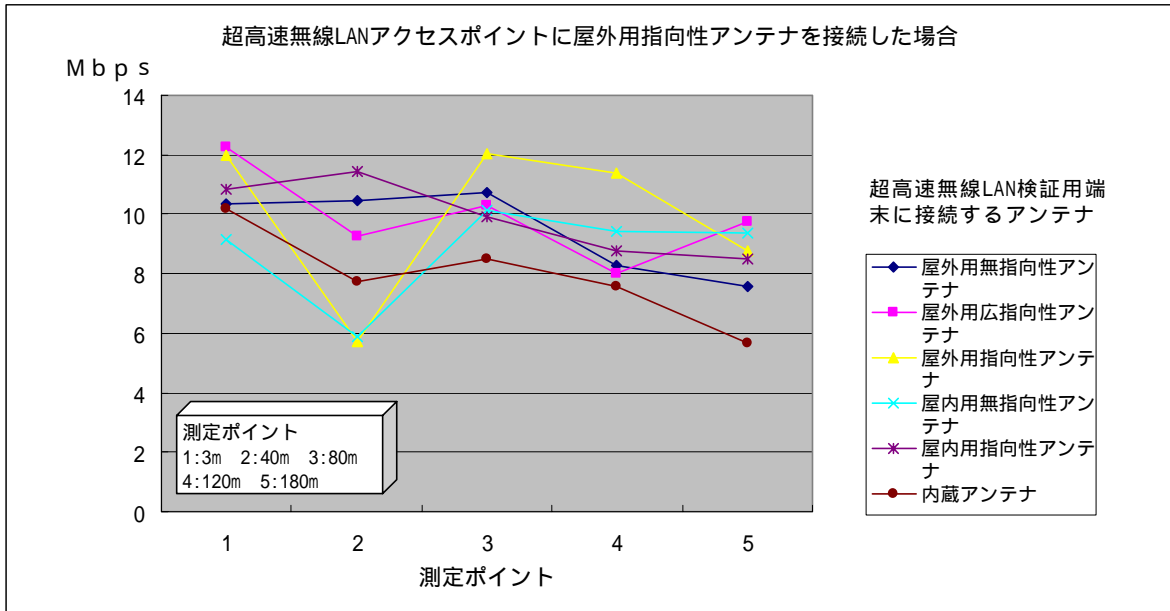


図 4.2. 68 検証結果 31～36(1460Byte)

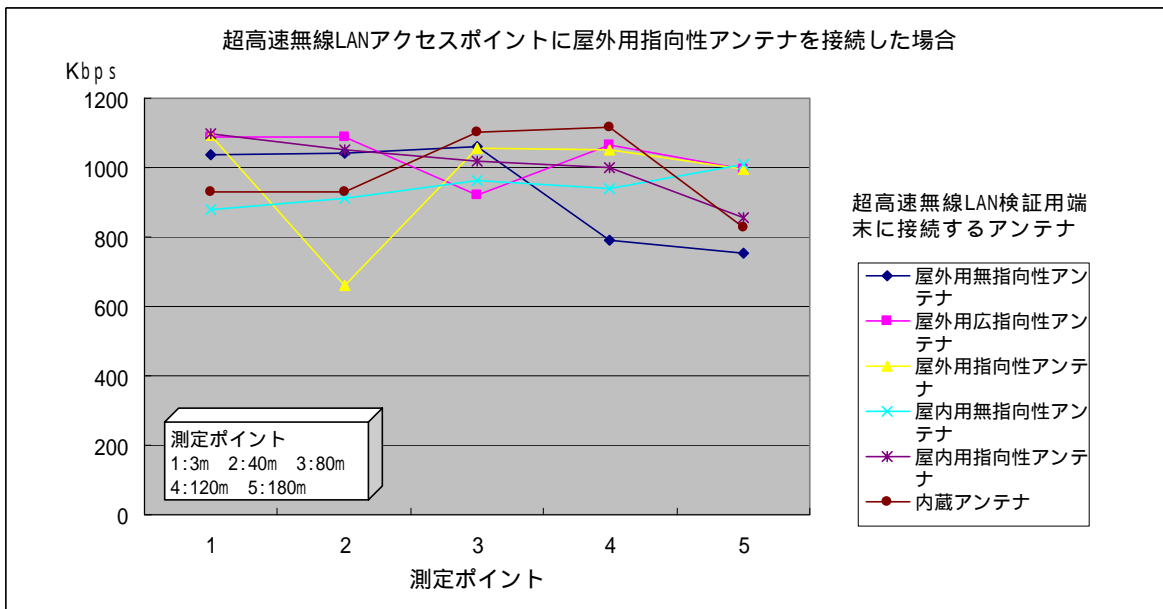


図 4.2. 69 検証結果 31～36(64Byte)

#### 4.2.3.3.2. フレームスピード及び電波強度の測定

AirMagnet アナライザを使用したフレームスピード及び電波強度の測定結果は以下である。

- 1) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置の内蔵アンテナを使用した場合の検証結果を図 4.2. 70 AirMagnet アナライザ検証 に示す。

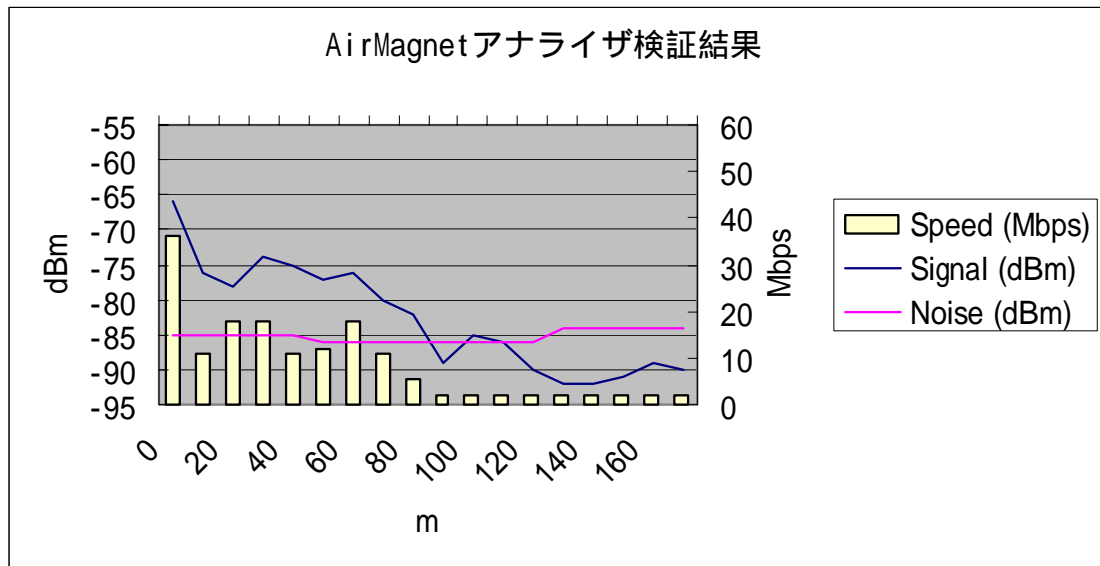


図 4.2. 70 AirMagnet アナライザ検証



2) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋内用無指向性アンテナを接続した場合の検証結果を図 4.2. 71 AirMagnet アナライザ検証 に示す。

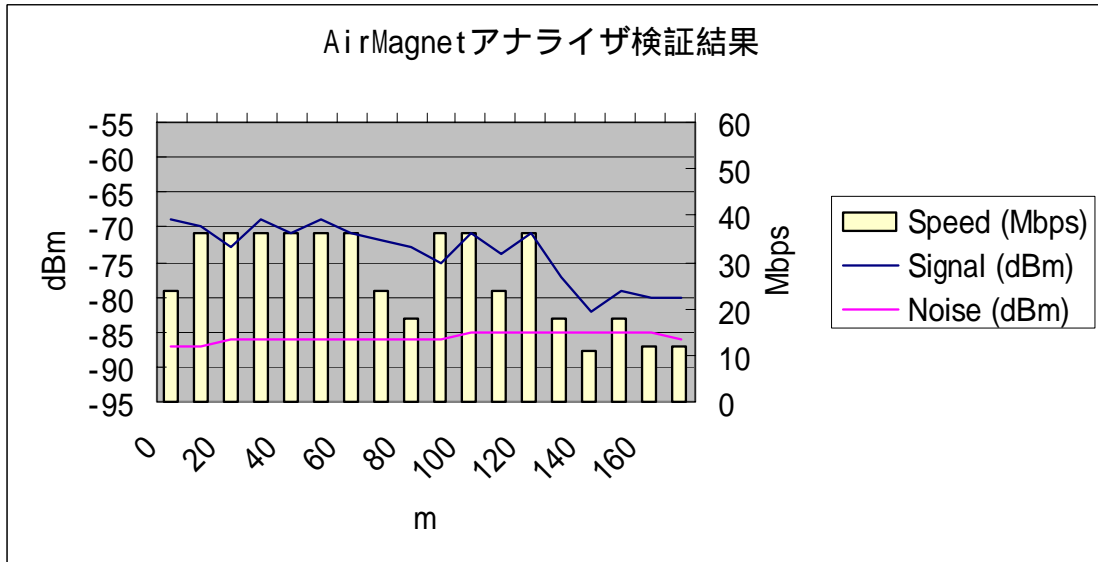


図 4.2. 71 AirMagnet アナライザ検証

3) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋内用指向性アンテナを接続した場合の検証結果を図 4.2. 72 AirMagnet アナライザ検証 に示す。

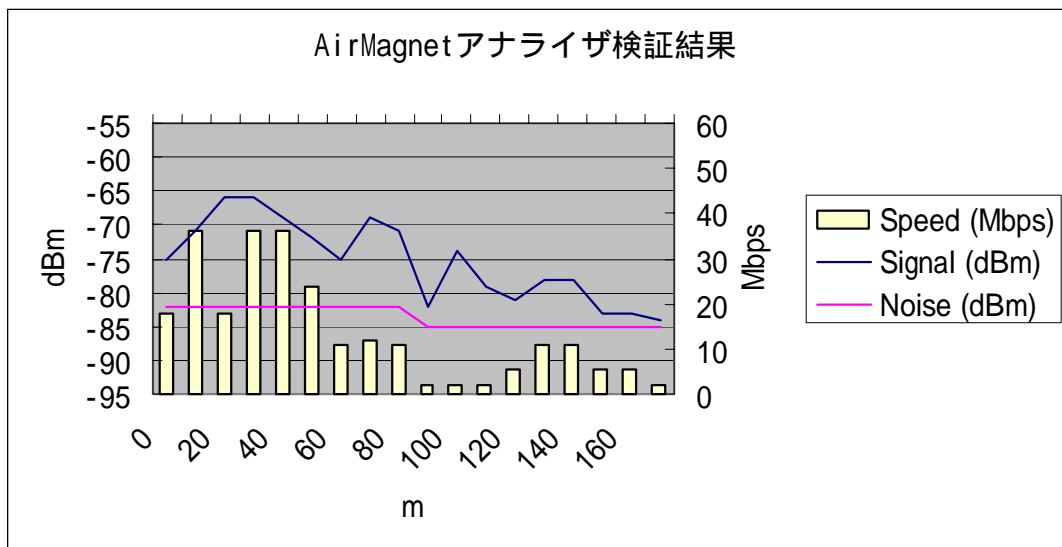


図 4.2. 72 AirMagnet アナライザ検証

4) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋外用無指向性アンテナを接続した場合の検証結果を図 4.2. 73 AirMagnet アナライザ検証 に示す

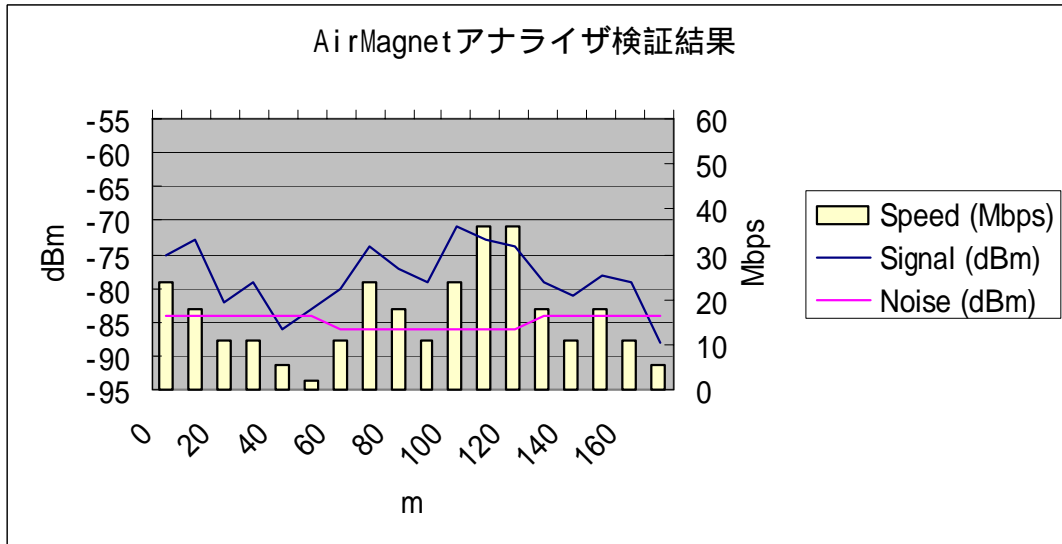


図 4.2. 73 AirMagnet アナライザ検証

5) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋外用広指向性アンテナを接続した場合の検証結果を図 4.2. 74 AirMagnet アナライザ検証 に示す。

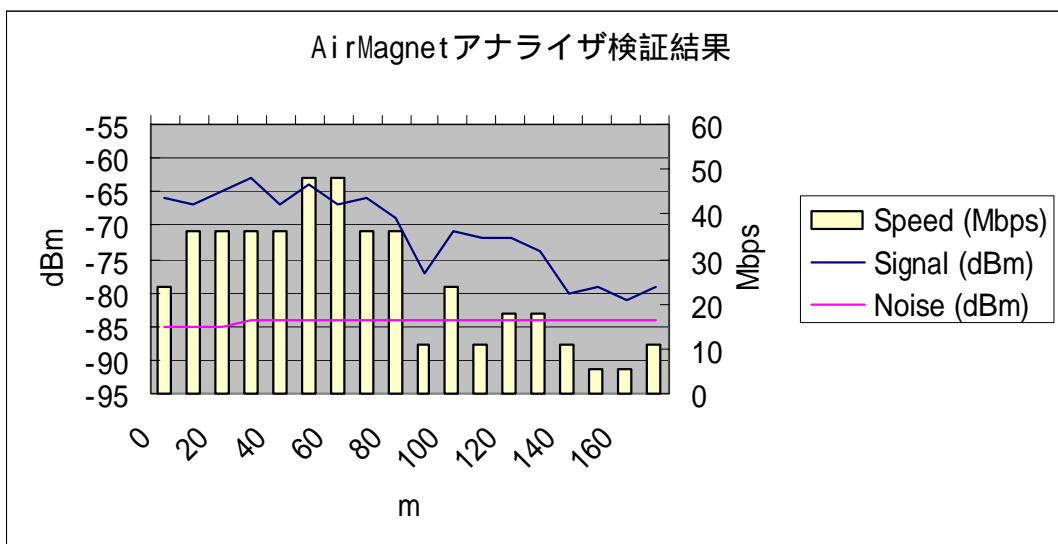


図 4.2. 74 AirMagnet アナライザ検証

6) 超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋外用指向性アンテナを接続した場合の検証結果を図 4.2. 75 AirMagnet アナライザ検証 に示す。

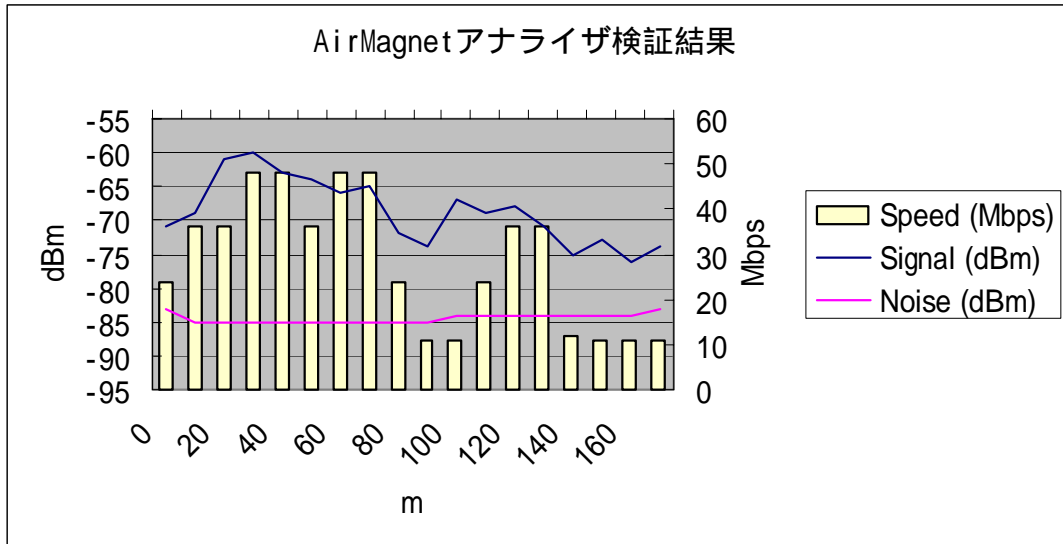


図 4.2. 75 AirMagnet アナライザ検証

悪天候時(雪)の NetMi を使用したスループット測定結果を表 4.2. 10～表 4.2. 15 にまとめた。なお、本検証では超高速無線 LAN 検証用端末には屋内用無指向性アンテナを接続して検証を行った。

表 4.2. 10 悪天候時検証結果(内蔵アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントの内蔵アンテナ使用						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	3.25	379	4.61	846	1.43	526
測定回数 2	4.25	512	5.36	847	1.21	328
測定回数 3	3.20	567	5.37	560	1.52	743
測定回数 4	3.16	608	2.11	564	1.84	843
測定回数 5	3.00	557	4.89	286	1.85	802
平均	3.37	525	4.47	621	1.56	648

表 4.2. 11 悪天候時検証結果(屋内用無指向性アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントに屋内用無指向性アンテナを接続						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	5.40	892	6.15	796	1.74	309
測定回数 2	5.98	803	6.13	212	3.42	327
測定回数 3	5.96	908	7.58	782	1.40	184
測定回数 4	5.06	925	5.86	674	2.41	298
測定回数 5	5.90	729	3.35	619	2.89	401
平均	5.66	851	5.81	617	2.37	304

表 4.2. 12 悪天候時検証結果(屋内用広指向性アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントに屋内用指向性アンテナを接続						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	5.35	564	5.21	548	1.01	320
測定回数 2	2.31	409	4.63	592	0.89	380
測定回数 3	5.43	311	5.18	482	0.91	392
測定回数 4	4.43	174	6.1	54	0.87	399
測定回数 5	3.86	233	7.23	516	0.98	397
平均	4.28	338	5.68	438	0.93	378

表 4.2. 13 悪天候時検証結果(屋外用無指向性アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントに屋外用無指向性アンテナを接続						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	4.71	568	8.26	693	1.18	338
測定回数 2	4.30	710	8.34	717	2.34	342
測定回数 3	2.43	682	6.12	518	3.21	458
測定回数 4	1.85	513	7.81	553	2.47	455
測定回数 5	2.59	688	8.25	816	2.78	381
平均	3.18	632	7.76	659	2.40	395

表 4.2. 14 悪天候時検証結果(屋外用広指向性アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントに屋外用広指向性アンテナを接続						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	6.73	668	7.15	228	2.27	641
測定回数 2	4.40	610	6.64	276	1.22	542
測定回数 3	3.53	655	3.65	178	4.61	509
測定回数 4	2.85	534	0.38	193	3.11	612
測定回数 5	3.58	623	1.23	350	4.60	547
平均	4.22	618	3.81	245	3.16	570

表 4.2. 15 悪天候時検証結果(屋外用指向性アンテナ)

超高速無線 LAN アクセスポイントに屋外用指向性アンテナを接続						
	point 3		point 4		point 5	
	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)	1460Byte (Mbps)	64Byte (Mbps)
測定回数 1	5.20	574	8.95	1013	2.27	641
測定回数 2	3.68	588	8.95	1043	1.22	542
測定回数 3	1.23	74	8.12	787	4.61	509
測定回数 4	2.33	217	9.12	746	3.11	612
測定回数 5	3.11	318	9.13	753	4.60	547
平均	3.11	354	8.85	868	3.16	570

4.2.3.3.3.最大接続距離の測定

表 4.2. 16 通信限界距離測定結果に各アンテナの最大接続距離とその地点でのスループットをまとめた。

表 4.2. 16 通信限界距離測定結果

アンテナ種類	接続距離		FTP 測定			
			1	2	3	平均
内蔵アンテナ	180m	put (Mbps)	2.059	1.500	0.753	1.437
		get (Mbps)	1.852	2.462	0.771	1.695
屋内用無指向性アンテナ	205m	put (Mbps)	0.377	5.496	2.155	2.676
		get (Mbps)	1.636	2.974	4.169	2.927
屋内用広指向性アンテナ	258m	put (Mbps)	1.481	0.961	1.426	1.289
		get (Mbps)	1.080	0.930	0.490	0.834
屋外用無指向性アンテナ	205m	put (Mbps)	0.639	1.111	0.232	0.660
		get (Mbps)	0.923	2.318	2.106	1.782
屋外用広指向性アンテナ	185m	put (Mbps)	7.096	0.981	1.599	3.225
		get (Mbps)	0.919	0.581	0.506	0.669
屋外用指向性アンテナ	318m	put (Mbps)	2.184	0.499	2.364	1.682
		get (Mbps)	1.930	1.856	2.553	2.113

#### 4.2.3.3.4. 電波強度測定による指向特性の測定

各アンテナの指向特性として、各角度での電波強度を以下の図 4.2. 76～図 4.2. 81 にまとめた。

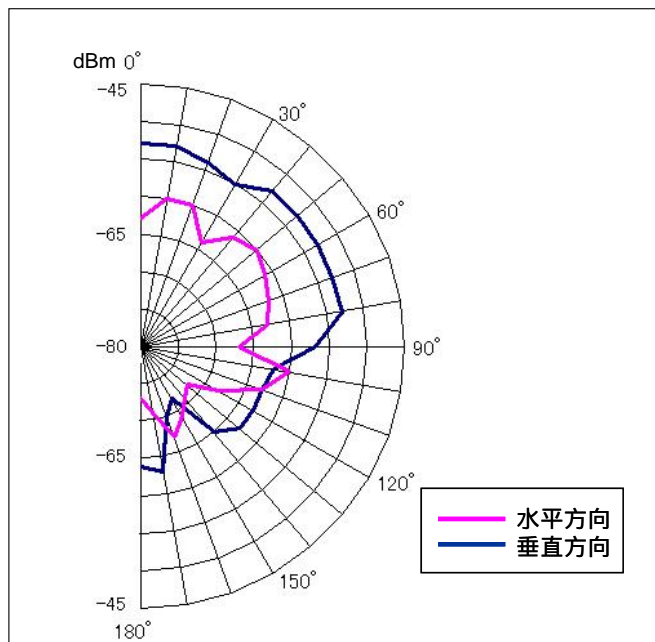


図 4.2. 76 内蔵アンテナ

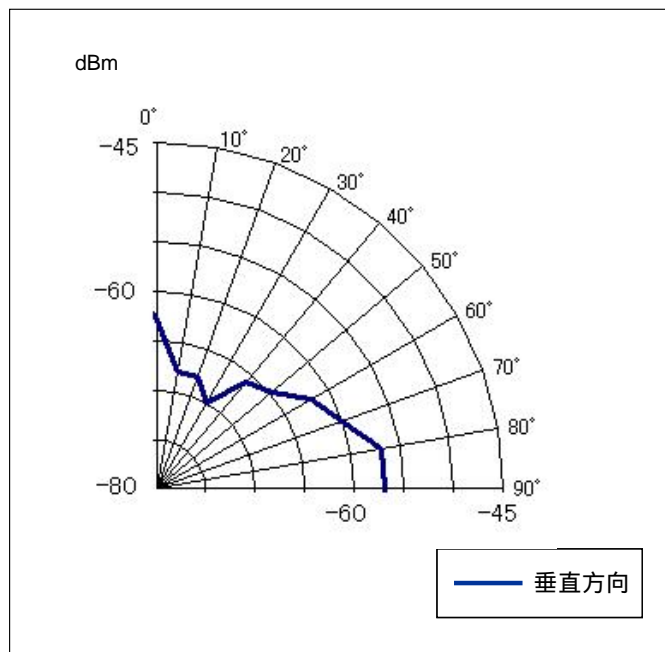


図 4.2. 77 屋内用無指向性アンテナ

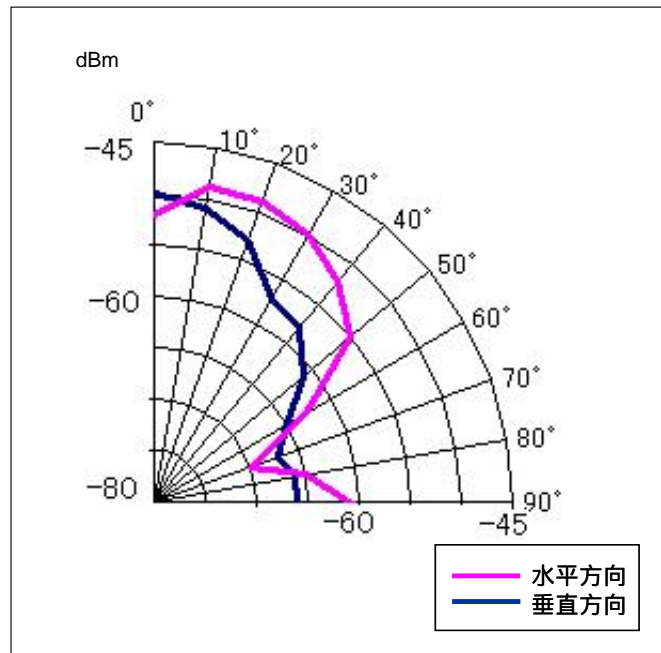


図 4.2. 78 屋内用広指向性アンテナ

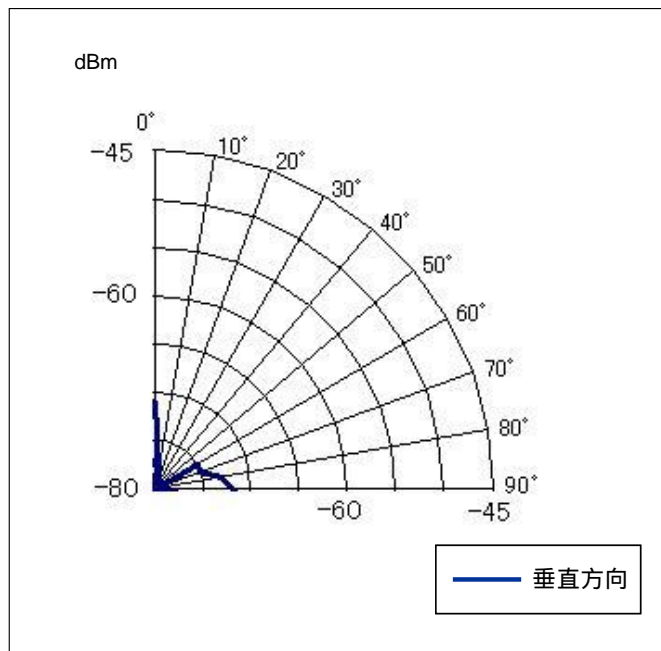


図 4.2. 79 屋外用無指向性アンテナ



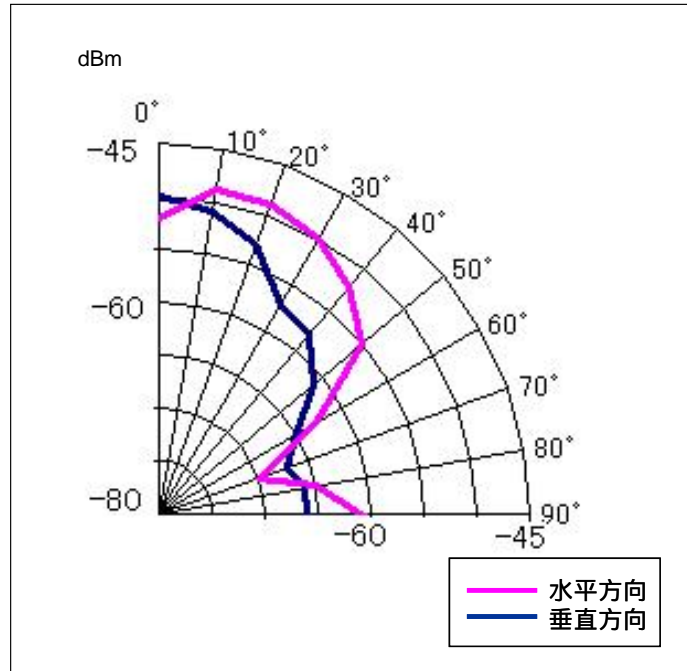


図 4.2. 80 屋外用広指向性アンテナ

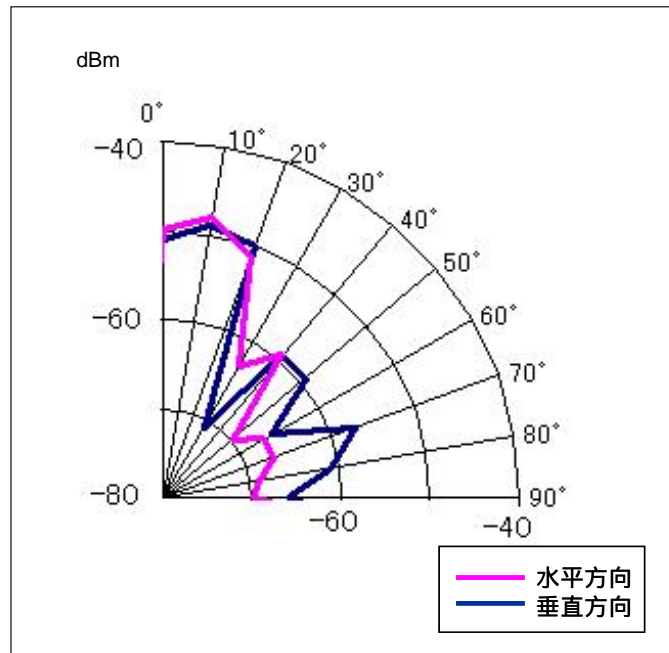


図 4.2. 81 屋外用指向性アンテナ

#### 4.2.3.4. 考察

##### 4.2.3.4.1. 外部アンテナの指向特性について

各外部アンテナ及び超高速無線 LAN アクセスポイント装置内蔵アンテナの指向特性を AirMagnet 無線 LAN アナライザによる電波強度測定によって検証した。超高速無線 LAN アクセスポイント装置内蔵アンテナは指向特性図などの指向性に関するデータがメーカー側から公表されていないが、図 4.2. 76 の検証結果によると LED ランプのある面への指向性が強いことがわかった。超高速無線 LAN アクセスポイント装置を設置するとき、LED ランプのある面を上方にして平置きする場合には、壁掛け設置する場合に比べて指向性が落ちてしまう点に注意しなければならない。超高速無線 LAN アクセスポイントを効率的に利用するには、壁掛けもしくは壁掛けと同じ向きに設置するのが良いと考えられる。

広指向性アンテナのような比較的指向性の低い、広い方向に電波が飛ぶアンテナの場合は 0° から 90° へ回転させていくにしたがって緩やかな曲線で電波強度が減少していくが、指向性アンテナなどの指向性が高いアンテナの場合では回転角が 20° を越えたあたりから急激に電波強度が減少している。図 4.2. 81 を見ると、20° から 30° の間で 20dBm ほど減少しているが、電波強度は 10 を底とする対数なので実際の電波出力では 100 分の 1 に減少していることになる。指向性の高い外部アンテナを使用する際には、通信相手との位置関係に留意して外部アンテナを最適な方向に向けて設置する必要がある。

##### 4.2.3.4.2. 超高速無線 LAN システムの屋外利用における天候の影響

本検証の「4.2.3.3.1 スループット測定」において、悪天候時(雪)での通信性能を測定した。悪天候時は晴天時のスループットと比べて、ほとんどの場合で約 40～60%程度低下していた。さらに、特徴として超高速無線 LAN アクセスポイント装置と超高速無線 LAN モバイルターミナル装置との距離が離れれば離れるほどその低下率は増加した。また、スループットの数値は 30 秒間パケットを送信した時の平均値であるが、測定中に表示されるリアルタイムのスループットを観測すると、晴天時での数値の振れ幅は±20%程度であるが、悪天候時では約 98%減少(約 10Mbps から約 20kbps まで減少)するなど、通信が非常に不安定になった。原因として考えられることは、超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び外部アンテナから発せられた電波が降雪によって吸収または乱反射を起こしてしまうなどして超高速無線 LAN モバイルターミナル装置まで正常に届かなかったことが影響していると考えられる。屋外で超高速無線 LAN システムを使用する場合、天候によってはスループットなどの通信性能や安定性が大きく低下してしまうことに留意する必要がある。

#### 4.2.4. 超高速無線 LAN システムの外部アンテナ利用に関する検証

##### 4.2.4.1. はじめに

学校内及び学区内に設置されている超高速無線 LAN アクセスポイント装置に外部アンテナを接続し、実際の環境の中での通信速度、接続距離、安定性、アプリケーションの使用感などのネットワークの品質に関する検証を実施し、外部アンテナ利用の有効性や設計手法について検証をおこなう。

##### 4.2.4.1.1. 外部アンテナ設置

屋外屋内を問わない無線 LAN 環境を構築するために超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び外部アンテナを学区内保護者宅などの一般家庭に設置した。

設置する方法として、超高速無線 LAN アクセスポイント装置専用の屋外設置用 BOX を使用して超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び屋外用外部アンテナの両方を屋外に設置する方法もあるが、屋外での電源供給方法など一般家庭の設備では難しい点もあるので、本検証では、後者の屋外用外部アンテナのみを屋外に設置する形態を採用した。

設置した機器の構成は図 4.2. 82 設置機器構成である。

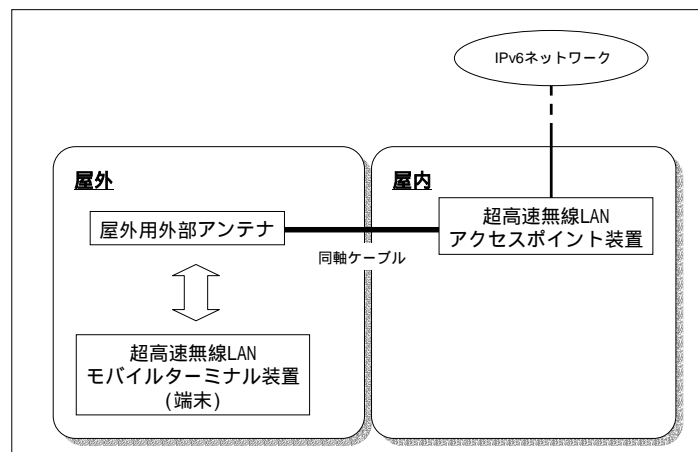


図 4.2. 82 設置機器構成

超高速無線 LAN アクセスポイント装置を屋内に、屋外用外部アンテナを窓やベランダ等へ設置する場合、両者を接続する同軸ケーブルを何らかの形で外壁を通すように配線する必要がある。その際、エアコンの排気用の配管貫通用穴が施工されている場合は、その穴を使用すると工事が簡易であった。

エアコンの排気用の配管貫通用穴が既に施工されている場合は、防水パテを詰めなおす程度の簡易な工事で屋内から屋外へ同軸ケーブルを配線することが可能であった。

しかし、エアコンの排気用の配管貫通が施工されていない場合、同軸ケーブルの両端の接続コネクタを通すことのできる直径 20mm 程度の穴を外壁に対してあける必要があった。穴あけ貫通工事に際して、持ち家の場合には居住者の許可のみで工事可能であったが、集合住宅など借家の場合には資産管理者への許可も必要になるので留意する必要があった。

また、厚さ 2mm ほどの隙間を通すためのフラットケーブルを使用し、窓枠等の隙間を配線する方法もある。その場合、フラットケーブル部は一般的な同軸ケーブル(5m で 3dBi)に比べて通過損失が大きい(0.5m で 1.8dBi)ので電波出力が弱まり電波の飛距離が短くなってしまうので注意が必要である。

以下に、外部アンテナの設置例を示す。



図 4.2. 83 アンテナ設置例



図 4.2. 84 アンテナ設置例



図 4.2. 85 アンテナ設置例

#### 4.2.4.2.実験方法

超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び無線 LAN モバイルターミナル装置に各外部アンテナを接続し、外部アンテナの通信速度、接続距離、安定性などの通信性能や実際のアプリケーションの性能測定を行った。性能測定については、以下のソフトウェア等を使用した。

##### 4.2.4.2.1.AirMagnet アナライザ

各フィールドにおいて、「4.2.3 超高速無線 LAN システムの外部アンテナの基本性能に関する検証」でも使用した AirMagnet アナライザを使用し、各ルートもしくは各ポイントにおいてパフォーマンス計測を行った。

#### 4.2.4.2.2.FTP ソフト

各ポイントでの通信速度を測定する上で、「4.2.3 超高速無線 LAN システムの外部アンテナの基本性能に関する検証」と同様に FTP によるファイル転送により測定した。本検証の機器構成は図 4.2. 86 FTP 検証構成図のとおりである。

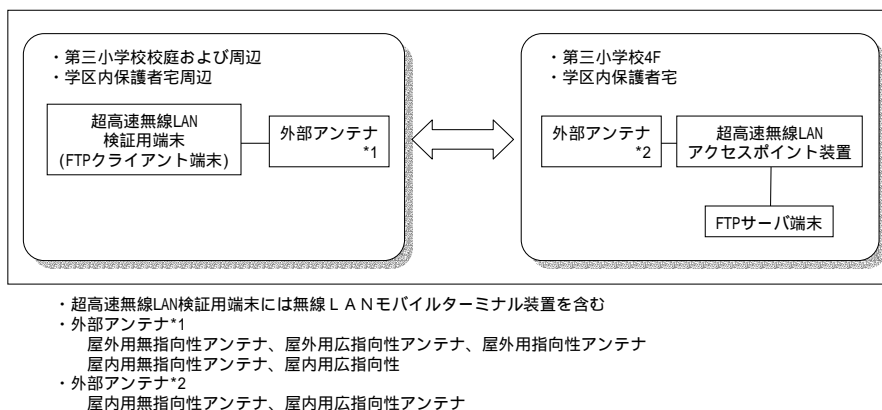
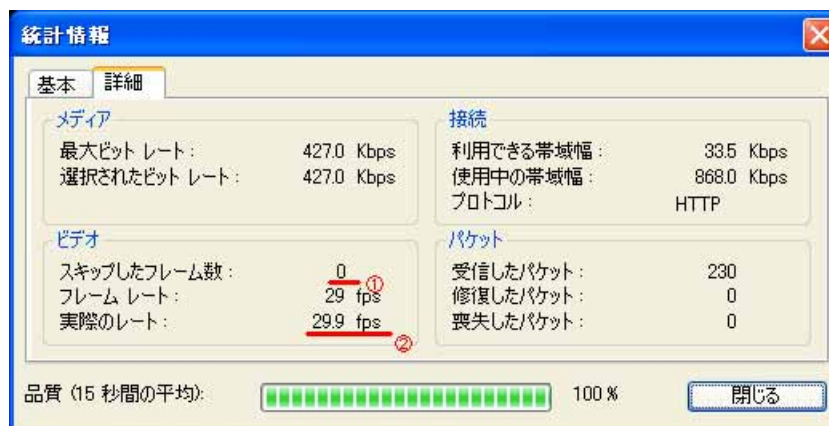


図 4.2. 86 FTP 検証構成図

#### 4.2.4.2.3.三鷹ポータル

「平成 14 年度 e!プロジェクト教育分野」で作成されたシステムである。IPsec によるセキュアなネットワークの下で、ストリーミング映像のライブ配信もしくはオンデマンド配信が可能である。通信の特徴は UDP によるリアルタイム通信である。受信には「Windows Media Player ver9」を使用し、本検証ではオンデマンド配信を受信した場合の Windows Media Player の[表示]-[統計情報]-[詳細]タブ画面(図 4.2. 87 Windows Media Player(統計情報)画面を参照)の「スキップしたフレーム数」... 及び「実際のレート」... の数値と使用感について測定した。



## 図 4.2. 87 Windows Media Player(統計情報)画面

### 4.2.4.2.4. ポケッツ 2

HTTP<sup>2</sup>を使用したWebベースのドリル型コンテンツである。本検証では評価方法として、画面遷移や回答までの待ち時間等の使用感について、以下の3ランクに分類した。

- a. 特に問題なく使用することができる。
- b. 使用することができるが、画面遷移等が著しく遅い。
- c. 使用することができない。

### 4.2.4.2.5. 検証フィールド

学校内及び学区内に設置された超高速無線 LAN アクセスポイント装置のうち典型的な設置形態として、以下を抽出し検証フィールドとして使用した。

- 1) 第三小学校校庭
- 2) 第三小学校農園
- 3) 学区内保護者宅
- 4) 学区内保護者宅

### 4.2.4.3. 各フィールドの検証手順と検証結果

以下に、各フィールドにおける検証手順と検証結果について説明する。

#### 4.2.4.3.1. 第三小学校校庭

##### 1) 検証手順

本フィールドでは、図 4.2. 88 検証イメージ図(第三小学校校庭)のように、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナ(WLE-HG-DA)を使用し、校庭全体に対して電波を照射するようにして校庭全体で超高速無線 LAN システムを使用可能にするイメージである。また、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)を設置した場合についても検証した。超高速無線 LAN モバイルターミナル装置にも外部アンテナとして屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)を接続した場合についても同様の検証を行った。なお、広指向性アンテナは真南の斜め下向き 45° に指向性の強い方向が向くように設置した。無指向性アンテナは指向性の強い面が水平になるように設置した。

---

<sup>2</sup> Hyper Text Transfer Protocolの略。WebブラウザとWebサーバ間において、文書などを転送するために用いられるアプリケーションレベルのプロトコル。

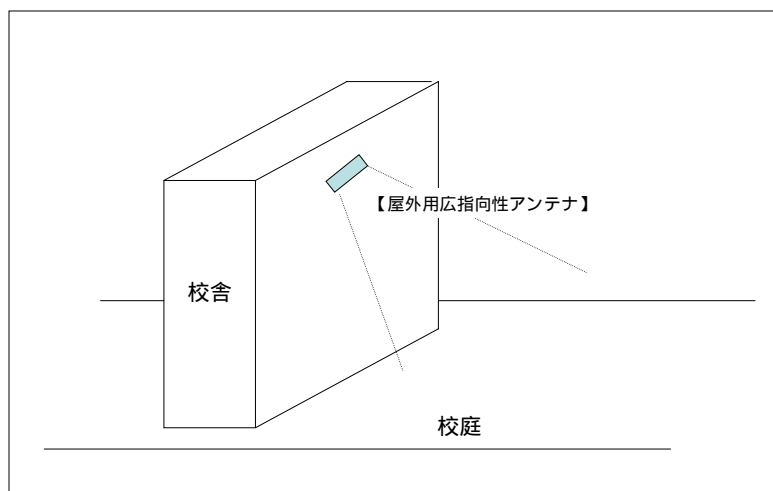


図 4.2. 88 検証イメージ図(第三小学校校庭)

超高速無線 LAN アクセスポイント装置を第三小学校 4F 教室に設置し、AirMagnet アナライザを使用して校庭内での電波強度、ノイズ、フレームスピード等について計測した。計測ルートについては図 4.2. 89 無線 LAN アナライザ計測ルート(第三小学校校庭)を参照のこと。

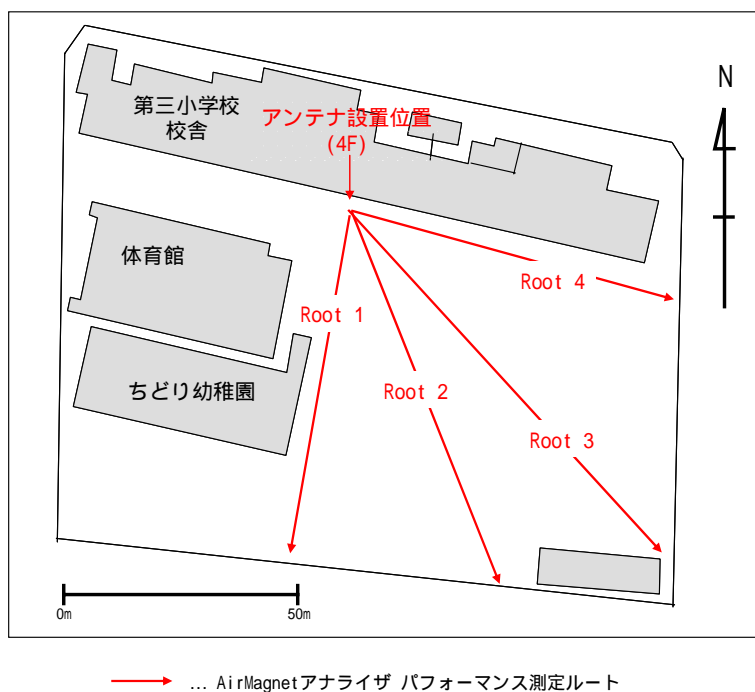
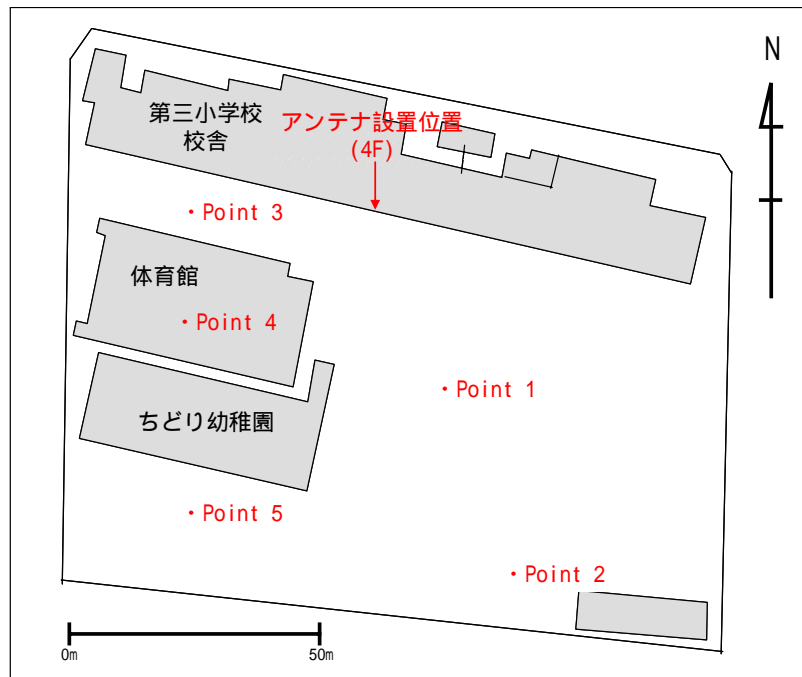


図 4.2. 89 無線 LAN アナライザ計測ルート(第三小学校校庭)



超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び FTP サーバ端末を第三小学校 4F 教室に設置し、超高速無線 LAN 検証用端末(FTP クライアント端末)を使用して第三小学校校庭の Point 1~Point5 で FTP の put、get によるファイル転送スループットを測定し超高速無線 LAN システムの性能測定を行った。Point1~Point5 の詳細については図 4.2. 90 FTP 測定ポイント(第三小学校校庭)を参照のこと。



- Point 1 ... FTPクライアント測定ポイント1
- Point 2 ... FTPクライアント測定ポイント2
- Point 3 ... FTPクライアント測定ポイント3
- Point 4 ... FTPクライアント測定ポイント4 (体育館内)
- Point 5 ... FTPクライアント測定ポイント5

図 4.2. 90 FTP 測定ポイント(第三小学校校庭)

## 2) 検証結果

各ルートにおける AirMagnet アナライザによる電波強度測定で、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナを使用した場合の結果をグラフにまとめたものは図 4.2. 91 ~ 図 4.2. 94、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナを使用した場合の結果をグラフにまとめたものは図 4.2. 95 ~ 図 4.2. 98 である。また、図 4.2. 91 ~ 図 4.2. 98 の結果を踏まえ、第三小学校校庭内における電波強度の分布状況を図 4.2. 99 及び図 4.2. 100 にまとめた。なお、Point4 及び Point5 では超高速無線 LAN アクセスポイント装置を見通すことができないため、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置との間でアソシエ

ーションすることができず、測定ができなかった。

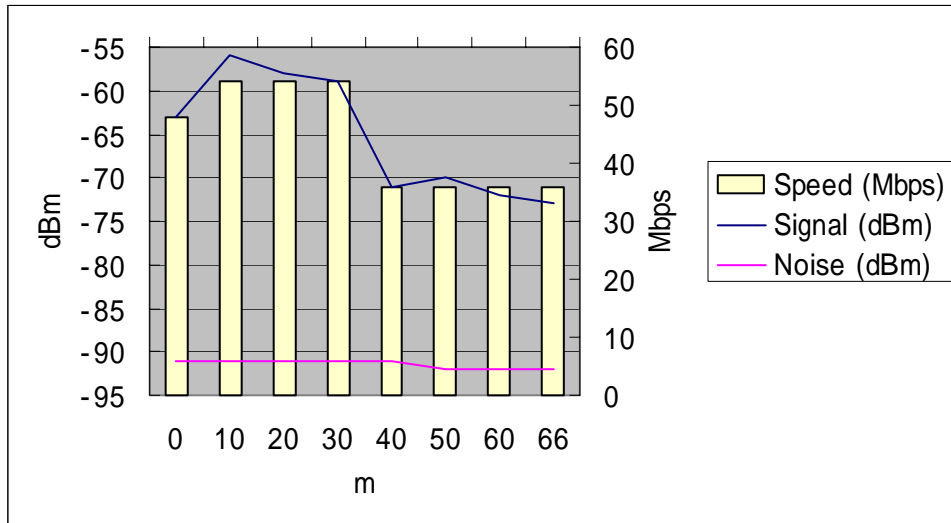


図 4.2. 91 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用広指向性アンテナ Root1)

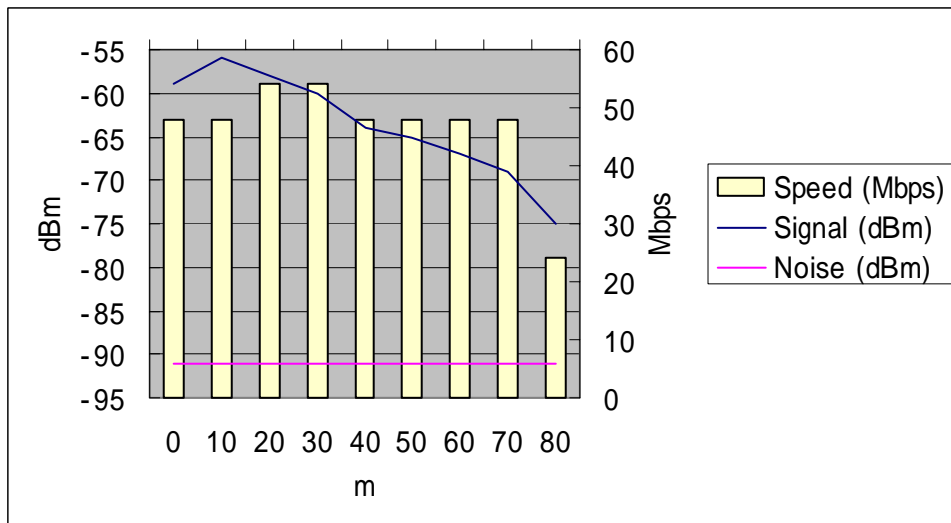


図 4.2. 92 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用広指向性アンテナ Root2)

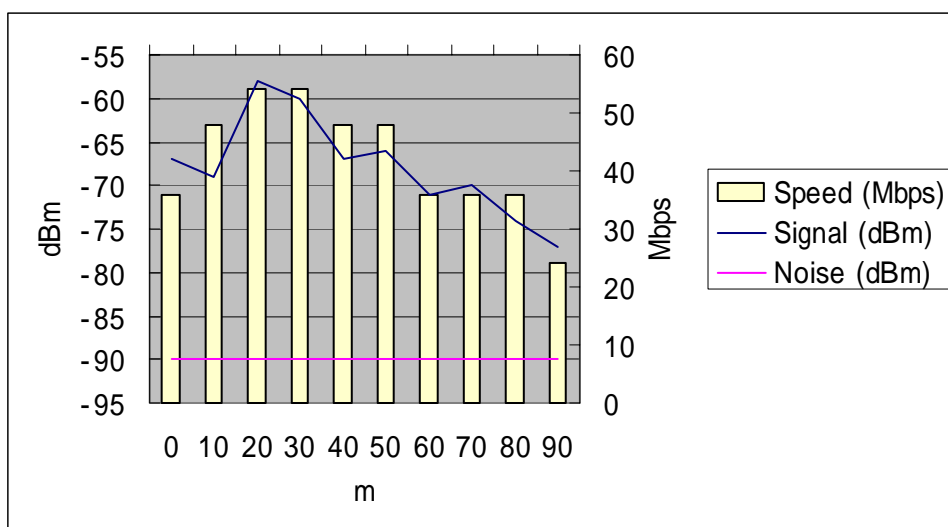


図 4.2. 93 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用広指向性アンテナ Root3)

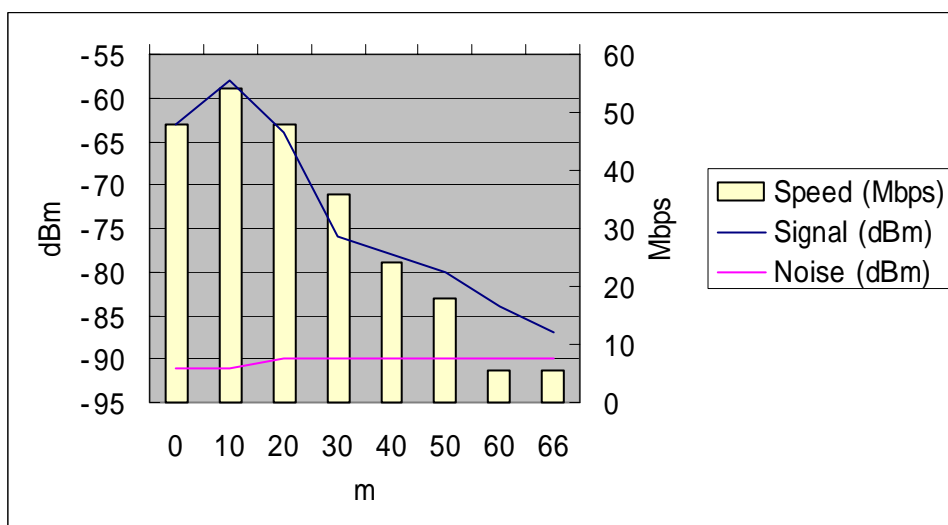


図 4.2. 94 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用広指向性アンテナ Root4)

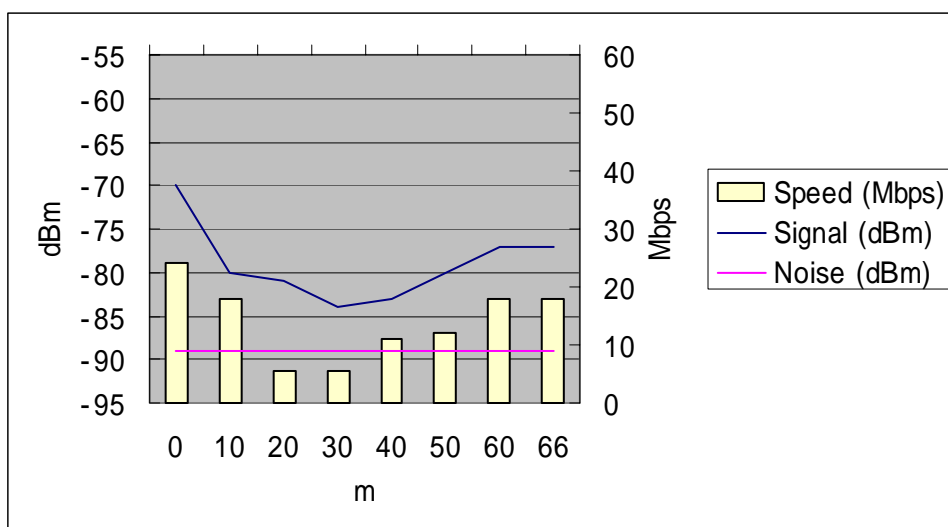


図 4.2. 95 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用無指向性アンテナ Root1)

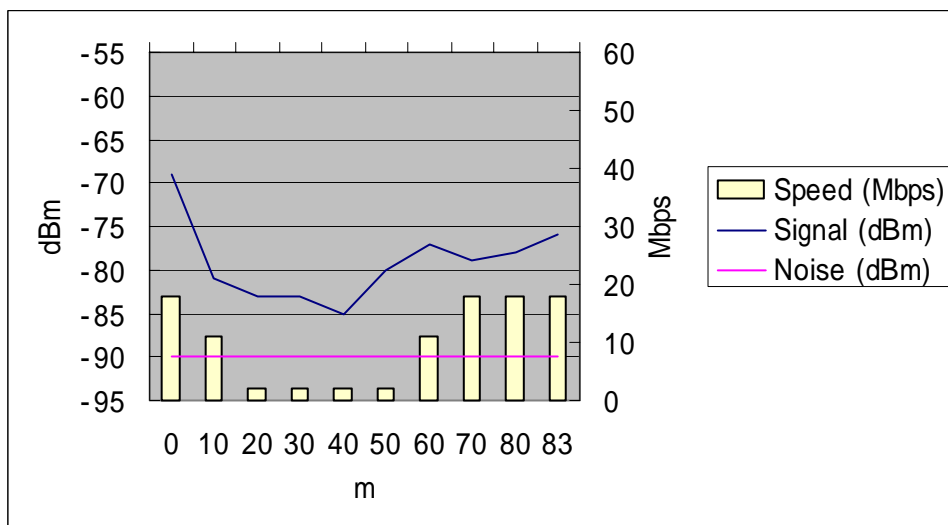


図 4.2. 96 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用無指向性アンテナ Root2)

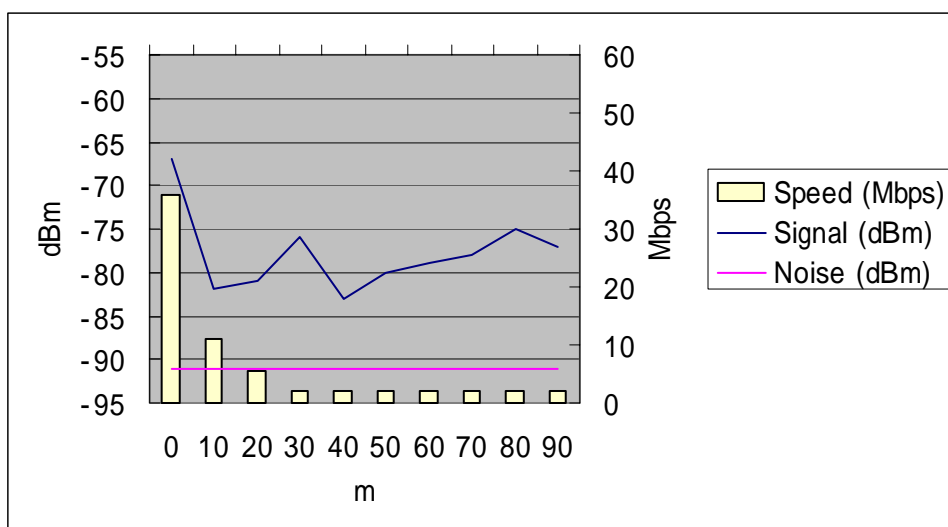


図 4.2. 97 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用無指向性アンテナ Root3)

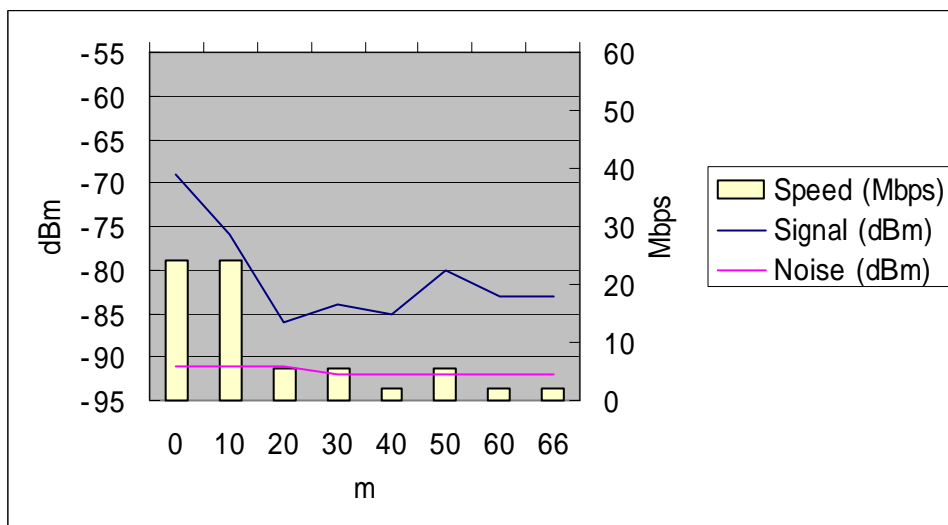


図 4.2. 98 AirMagnet アナライザ測定結果(校庭 屋外用無指向性アンテナ Root4)

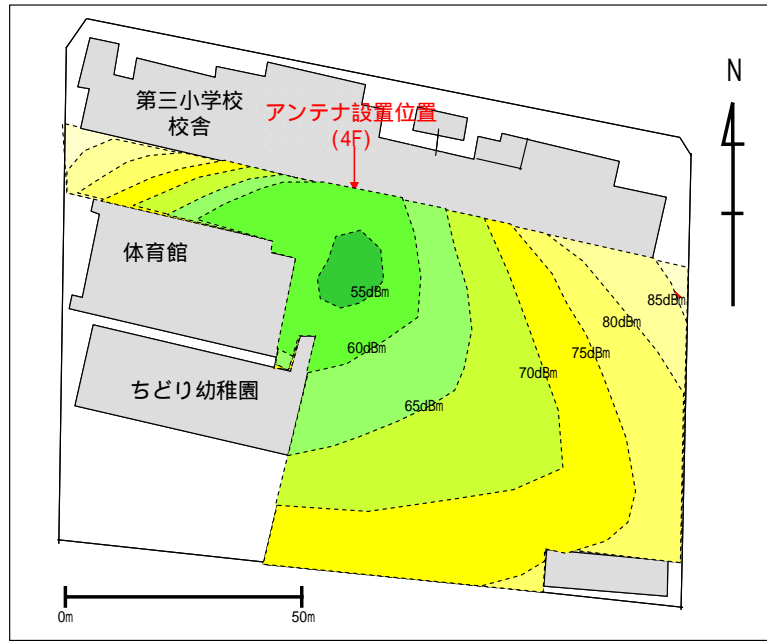


図 4.2. 99 電波強度分布図(校庭 屋外用広指向性アンテナ)

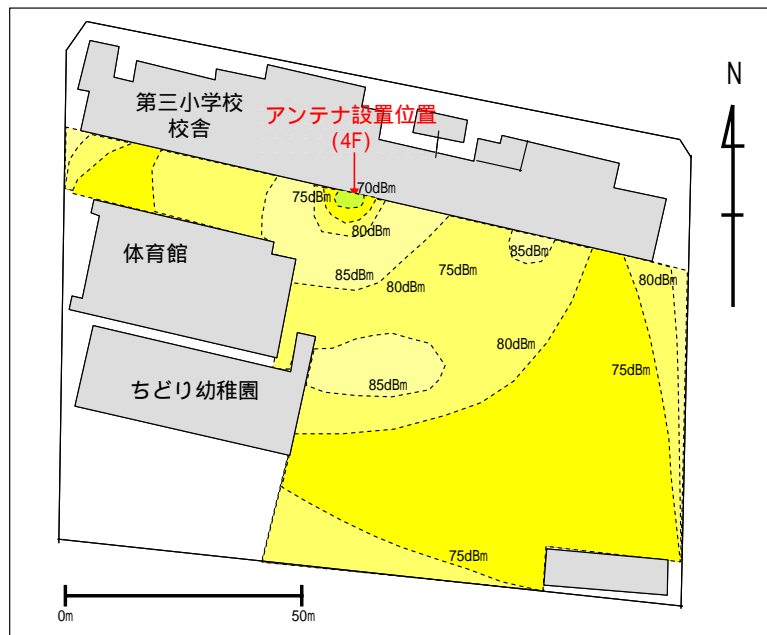


図 4.2. 100 電波強度分布図(校庭 屋外用無指向性アンテナ)

また、各ポイントにおける FTP 測定結果は表 4.2.17～表 4.2.10 である。AirMagnet

アナライザによる測定時と同様に、Point4 及び Point5 は超高速無線 LAN アクセスポイント装置を見通すことができないため超高速無線 LAN モバイルターミナル装置とアソシエーションすることができず測定することができなかった。

表 4.2. 17 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	6.533	2.953	3.429	5.184	8.052	7.982
2	6.286	3.738	4.087	1.605	11.065	5.389
3	5.607	1.646	4.484	6.290	2.942	5.027
平均	6.142	2.779	4.000	4.360	7.353	6.133

表 4.2. 18 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	2.184	3.753	4.740	2.861	4.770	5.719
2	6.192	8.219	1.920	1.463	5.803	5.354
3	10.778	7.479	4.911	4.583	8.293	3.842
平均	6.384	6.484	3.857	2.969	6.289	4.972

表 4.2. 19 FTP 測定結果(AP=屋外用無指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	3.429	1.608	0.984	3.119	5.430	1.695
2	4.558	1.952	0.386	4.128	5.097	5.606
3	2.730	4.583	2.085	2.127	5.496	5.053
平均	3.572	2.715	1.152	3.125	5.341	4.118

表 4.2. 20 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	1.690	1.836	6.101	3.755	6.642	2.469
2	1.037	4.634	3.703	4.128	6.333	3.736
3	4.439	3.050	3.345	4.743	4.716	5.058
平均	2.389	3.174	4.383	4.209	5.897	3.754

各ポイントにおける各アプリケーションの測定結果を表 4.2.21～表 4.2.24 にまとめた。

表 4.2. 21 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	1	0	0
	実際のフレーム数	27.1fps	24.0fps	24.5fps
ポケッツ 2	使用感	a	a	a

表 4.2. 22 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0	0	6
	実際のフレーム数	25.7fps	24.3fps	25.4fps
ポケッツ 2	使用感	a	a	a

表 4.2. 23 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	12	0	0
	実際のフレーム数	26.6fps	25.5fps	25.6fps
ポケッツ 2	使用感	a	a	a



表 4.2. 24 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	2	0	3
	実際のフレーム数	26.6fps	26.0fps	27.9fps
ポケッツ2	使用感	a	a	a

### 3) 検証結論

本フィールドにおける検証の結論は以下である。

#### 通信速度

屋外用無指向性アンテナの Point1 では、Root1 や Root2 の 30m 付近の電波強度の落ち込みにもあるとおり、アンテナの垂直方向に対する指向性の鋭さ(半値角=15±5°)から距離的には近いにも関わらず通信速度が低くなっている。

詳細は、「2) 検証結果」を参照のこと。

#### 接続距離

校庭内で外部アンテナを見通すことのできる場所ならば、通信することが可能であった。逆に、見通すことのできない場所であると近距離でも通信することができない。屋外用広指向性アンテナは校舎 4Fの真南向き斜め 45° 下向きに設置したが、Root1～Root3 では 30mを越えるあたりから -5dBm～ -10dBmと電波強度の落ち込みが大きくなっている。これらは、アンテナの指向性の影響もあるが、屋外用広指向性アンテナの半値角<sup>3</sup>は 58±5° でアンテナの指向性の影響は 60m過ぎから大きく現れるはずであるので、距離的な影響があると考えられる。また、屋外用広指向性アンテナからみるとほぼ側方になっているRoot4 では 10mを越えるあたりから電波強度の落ち込みが大きい。

#### 安定性

校庭内で外部アンテナを見通すことのできる場所ならば、安定的に通信することが可能であった。実際のアプリケーションによる性能測定の結果も同様である。

#### 4.2.4.3.2. 第三小学校農園

##### 1) 検証手順

本フィールドでは、図 4.2. 101 検証イメージ図(第三小学校農園)のように、外部ア

<sup>3</sup>最も強く電波が出ていく点を基準として、電力で半分の値になる点がつくる角度をいう。

ンテナに屋外用指向性アンテナ(WLE-HG-DYG)を使用し、第三小学校に隣接する農園に対して効率的にピンポイントで超高速無線 LAN システムを使用可能にするイメージである。外部アンテナに屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)を設置した場合についても検証し、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に外部アンテナとして屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)を接続した場合についても同様の検証を行った。なお、屋外用指向性アンテナは「4.2.4.3.1 第三小学校校庭」の検証と同様に無指向性アンテナは指向性の強い面が水平になるように設置した。

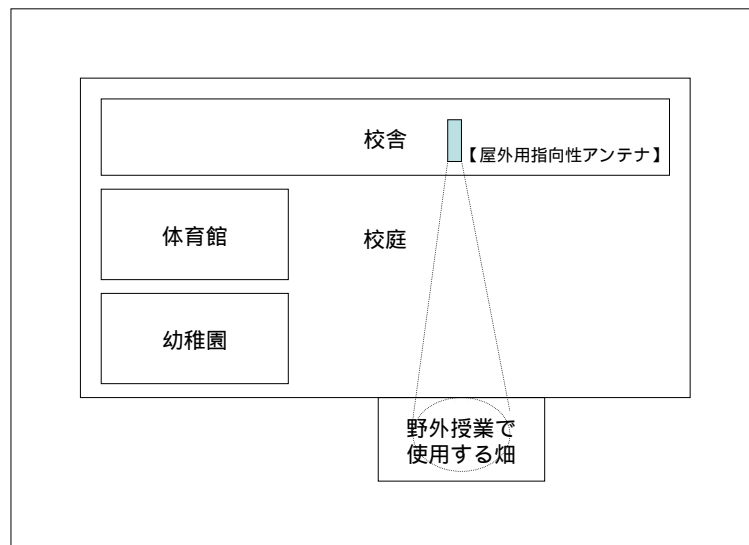
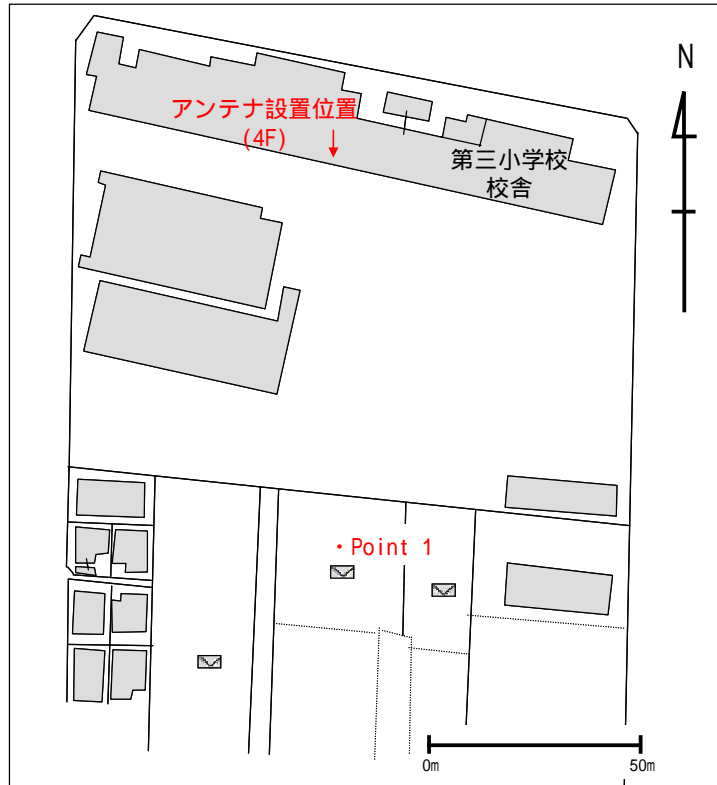


図 4.2. 101 検証イメージ図(第三小学校農園)

超高速無線 LAN アクセスポイント装置を第三小学校 4F 教室に設置し、AirMagnet アナライザを使用して、第三小学校に隣接する農園内での電波強度、ノイズ、フレームスピード等について計測した。また同時に、超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び FTP サーバ端末を第三小学校 4F 教室に設置し、超高速無線 LAN 検証用端末(FTP クライアント端末)を使用して第三小学校に隣接する農園でのスループットを測定し超高速無線 LAN システムの性能測定を行った。測定ポイントの詳細については計測ルートについては図 4.2. 102 測定ポイント(第三小学校農園)を参照のこと。



Point 1 ... FTPクライアント測定ポイント1  
AirMagnetアナライザ測定ポイント

図 4.2. 102 測定ポイント(第三小学校農園)

## 2) 検証結果

第三小学校農園における AirMagnet アナライザによる測定結果は表 4.2. 25 AirMagnet アナライザ測定結果(第三小学校農園)である

表 4.2. 25 AirMagnet アナライザ測定結果(第三小学校農園)

外部アンテナ	Signal (dBm)	Noise (dBm)	Speed (Mbps)
屋外用指向性アンテナ	-68	-84	36
屋外用無指向性アンテナ	-74	-86	36

第三小学校農園における FTP 測定結果は、表 4.2. 26 から表 4.2. 29 である。

表 4.2. 26 FTP 測定結果(AP=屋外用指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	put (Mbps)	get (Mbps)
1	7.940	5.653
2	9.084	5.551
3	8.081	6.716
平均	8.368	5.973

表 4.2. 27 FTP 測定結果(AP=屋外用指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	put (Mbps)	get (Mbps)
1	10.719	6.064
2	9.022	9.011
3	8.488	6.786
平均	9.410	7.287

表 4.2. 28 FTP 測定結果(AP=屋外用無指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	put (Mbps)	get (Mbps)
1	6.623	4.513
2	5.520	4.697
3	6.209	4.577
平均	6.117	4.596

表 4.2. 29 FTP 測定結果(AP=屋外用無指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	put (Mbps)	get (Mbps)
1	8.132	4.852
2	6.578	2.892
3	5.434	2.731
平均	6.715	3.492

また、屋外用指向性アンテナ(WLE-HG-DYG)のアンテナ特性として指向性が非常に高く、垂直偏波垂直面、垂直偏波水平面のどちらにおいても半値角は  $32.5 \pm 5^\circ$  であり、図 4.2. 42 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波水平面)及び図 4.2. 43 WLE-HG-DYG 指向特性図(垂直偏波垂直面)のとおり垂直偏波の進行方向(WLE-HG-DYG の場合はアンテナの頭頂部方向)から  $30^\circ$  前後離してしまうと著しく通信性能が低下してしまう。農園内の超高速無線 LAN 検証用端末(超高速無線 LAN モバイルターミナル装置の内蔵アンテナ)から約  $30^\circ$  ほど目標を離した場合での FTP 測定結果を、表 4.2. 30 FTP 測定結果(半値角外)にまとめた。

表 4.2. 30 FTP 測定結果(半値角外)

回数	put (Mbps)	get (Mbps)
1	7.765	5.359
2	7.804	5.818
3	7.688	6.146
平均	7.752	5.774

各ポイントにおけるアプリケーションの測定結果を表 4.2. 31 ~ 表 4.2. 34 にまとめた。

表 4.2. 31 アプリケーション測定結果(AP=屋外用指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	評価結果
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	1
	実際のフレーム数	24.5fps
ポケット 2	使用感	a

表 4.2. 32 アプリケーション測定結果(AP=屋外用指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	評価結果
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0
	実際のフレーム数	24.8fps
ポケット 2	使用感	a

表 4.2. 33 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	評価結果
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0
	実際のフレーム数	24.5fps
ポケット2	使用感	a

表 4.2. 34 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	評価結果
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0
	実際のフレーム数	25.9fps
ポケット2	使用感	a

### 3) 検証結論

本フィールドにおける検証の結論は以下である。

#### ア．通信速度

屋外用指向性アンテナの指向性の最も高い方向を、超高速無線 LAN 検証用端末から 30° ほどを外し、FTP ファイル転送によって通信速度の測定をしたところ、約 6%程度通信速度が遅くなった。

詳細は、「2) 検証結果」を参照のこと。

#### イ．接続距離

農園内では外部アンテナを見通すことのできるため通信することが可能であった。

#### ウ．安定性

農園内では外部アンテナをを見通すことができるため非常に安定的に通信することが可能であった。

#### エ．実際のアプリケーションによる性能測定

農園内は外部アンテナを見通すことができる場所であり、特に問題なく使用することが可能であった。

#### 4.2.4.3.3.学区内保護者宅

##### 1) 検証手順

本フィールドでは、図 4.2. 103 検証イメージ(学区内保護者宅 )のように、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)を使用し、高層階に位置する学区内保護者宅に超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び外部アンテナを設置し、その周辺で広く超高速無線 LAN システムを使用可能にするイメージである。また、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナ(WLE-HG-DA)を設置した場合についても検証し、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置にも外部アンテナとして屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)を接続した場合についても同様の検証を行った。なお、無指向性アンテナは指向性の強い面が水平になるように設置、広指向性アンテナは真南の斜め下向き 45°に指向性の強い方向が向くように設置した。

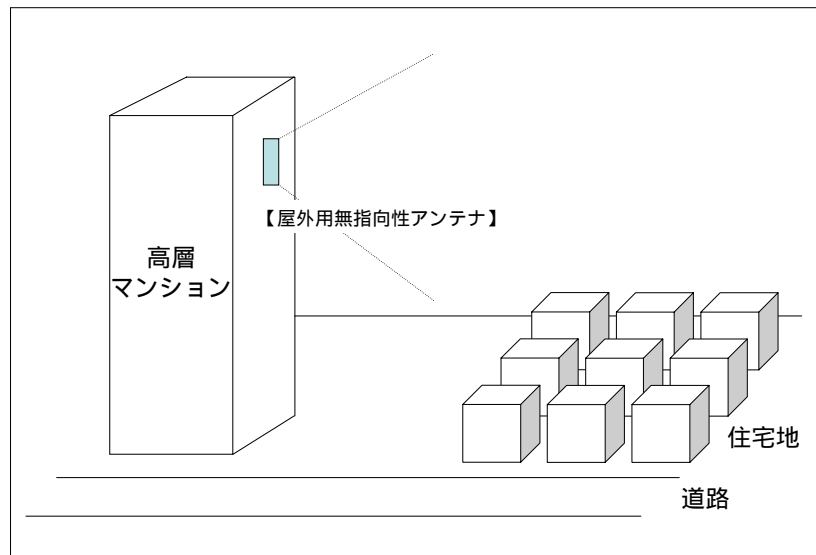


図 4.2. 103 検証イメージ(学区内保護者宅 )

超高速無線 LAN アクセスポイント装置を高層階に位置する学区内保護者宅 に設置し、AirMagnet アナライザを使用して、学区内保護者宅 の周辺で電波強度、ノイズ、フレームスピード等について計測した。各計測ルートについては図 4.2. 104 無線 LAN アナライザ計測ルート(学区内保護者宅 )を参照のこと。

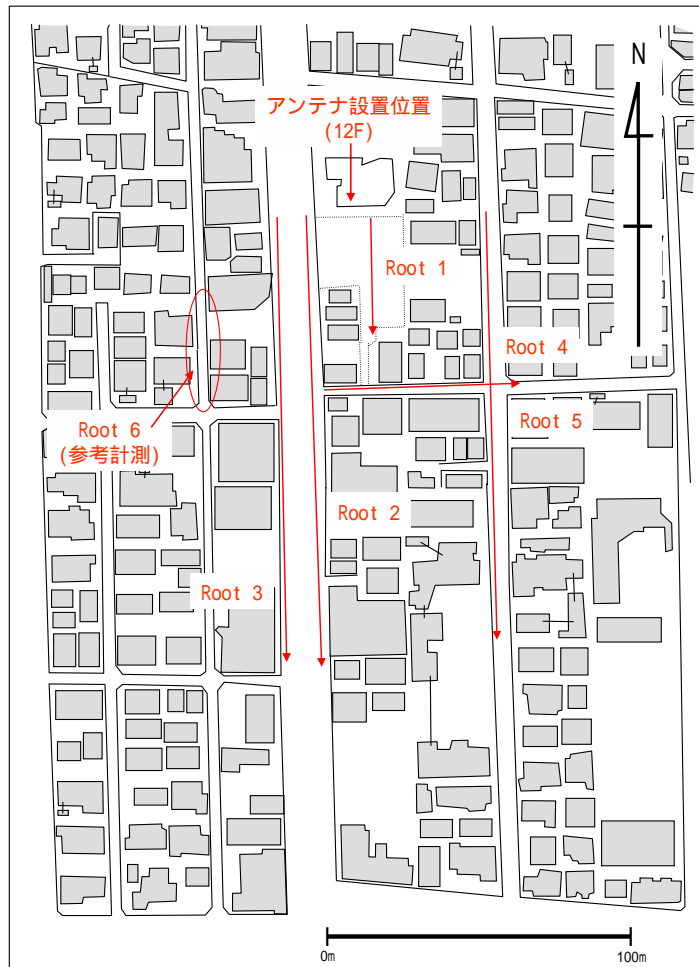


図 4.2. 104 無線 LAN アナライザ計測ルート(学区内保護者宅 )

超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び FTP サーバ端末を学区内保護者宅 に設置し、超高速無線 LAN 検証用端末(FTP クライアント端末)を使用して、学区内保護者宅 周辺でのスループットを測定し超高速無線 LAN システムの性能測定を行った。測定ポイントの詳細については図 4.2. 105 FTP 測定ポイント(学区内保護者宅 )を参照のこと。



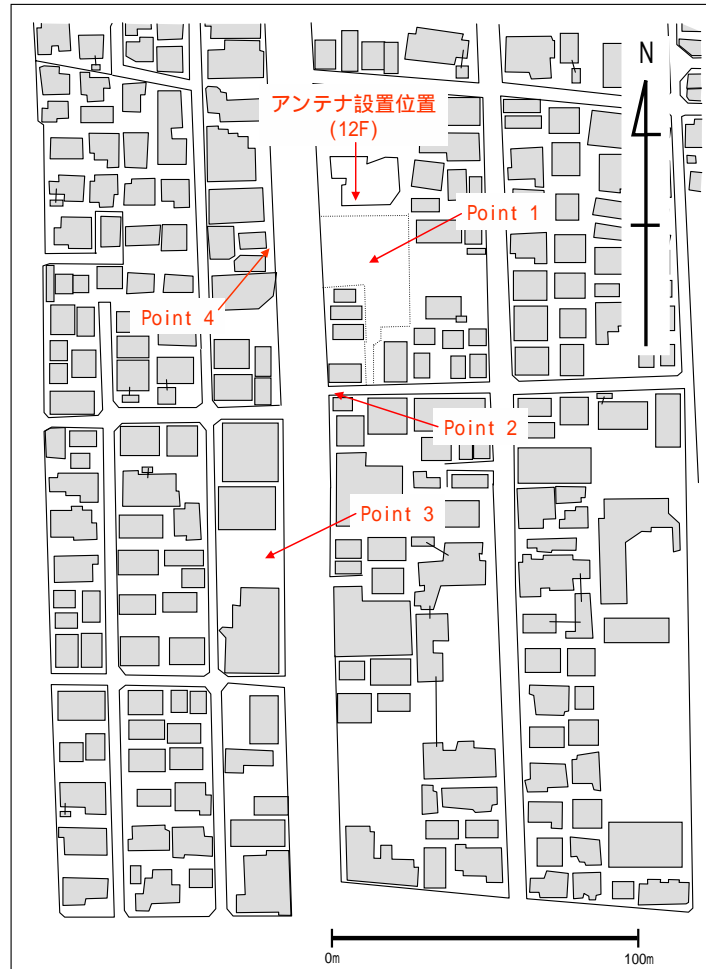


図 4.2. 105 FTP 測定ポイント(学区内保護者宅 )

## 2) 検証結果

学区内保護者宅 周辺の各ルートにおいて、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナを使用した場合の AirMagnet アナライザの測定結果をグラフにまとめたものは図 4.2. 106 ~ 図 4.2. 109 であり、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナを使用した場合の AirMagnet アナライザの測定結果をグラフにまとめたものは図 4.2. 110 ~ 図 4.2. 114 である。また、図 4.2. 106 から図 4.2. 114 の結果を踏まえ、学区内保護者宅 周辺における電波強度の分布状況を図 4.2. 115 及び図 4.2. 116 にまとめた。

なお、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)を使用した場合、Root 4 では超高速無線 LAN モバイルターミナル装置と超高速無線 LAN アクセスポイント装置でアソシエーションすることができないため計測することができなかった。Root 6(参考計測)においては、超高速無線 LAN アクセスポイント装置に接続した外部アンテナを建物の隙間から見通せる位置では -82dB ~ -86dB 程度の電波強度を計測できたが、建

物の影に隠れて見通せなくなると、アソシエーションすることができなくなり計測することができなかった。

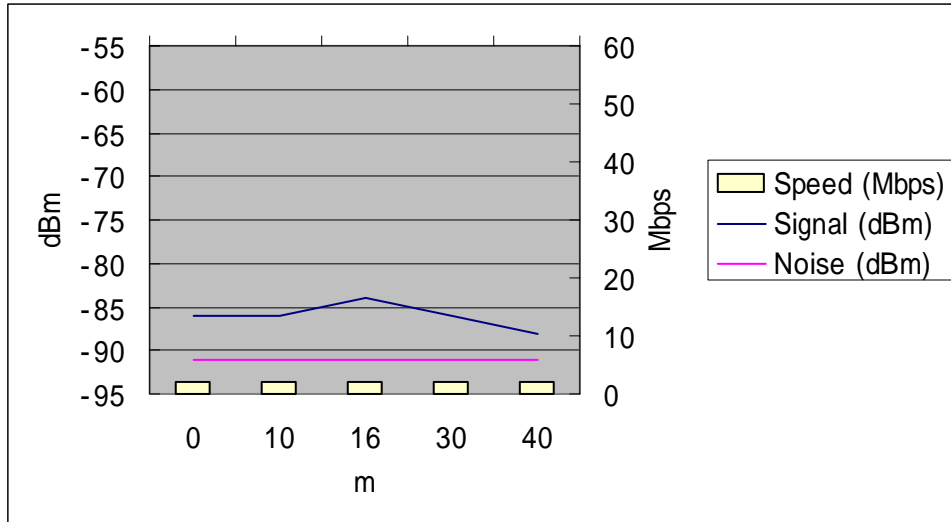


図 4.2. 106 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root1)

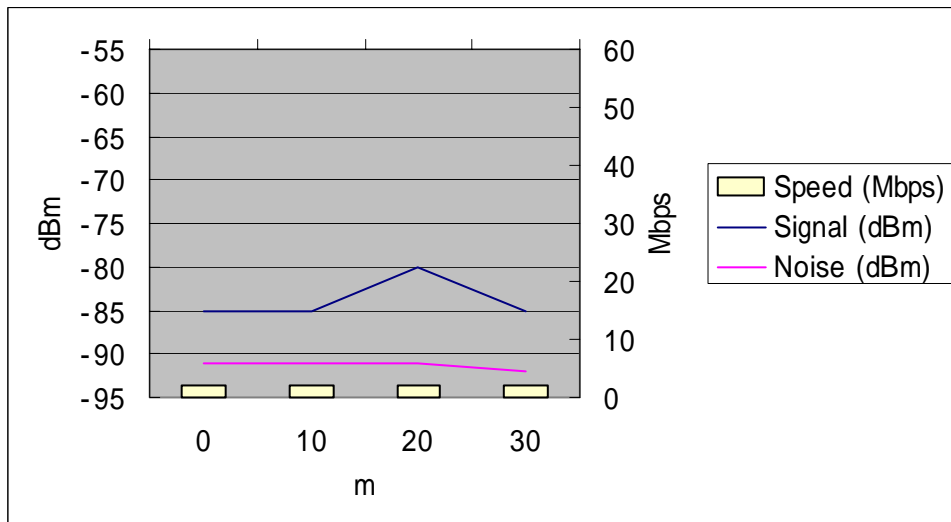


図 4.2. 107 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root2)

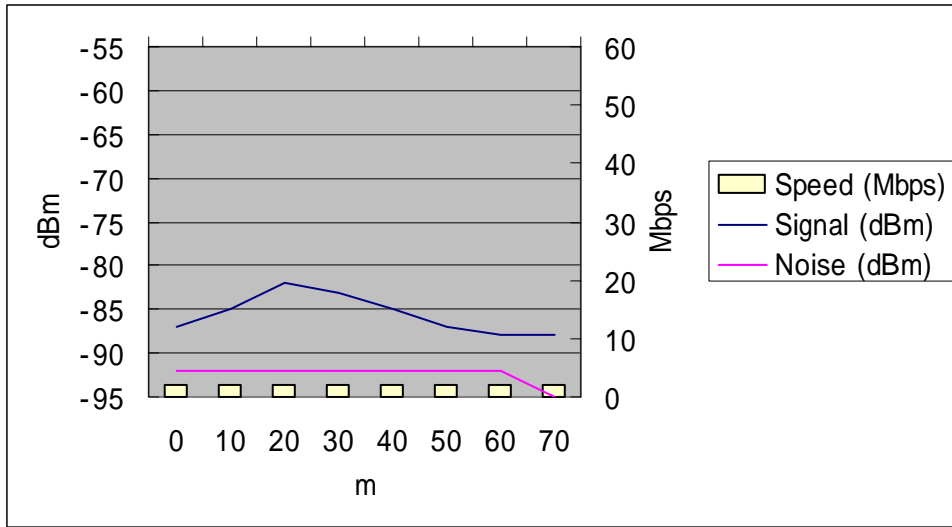


図 4.2. 108 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root3)

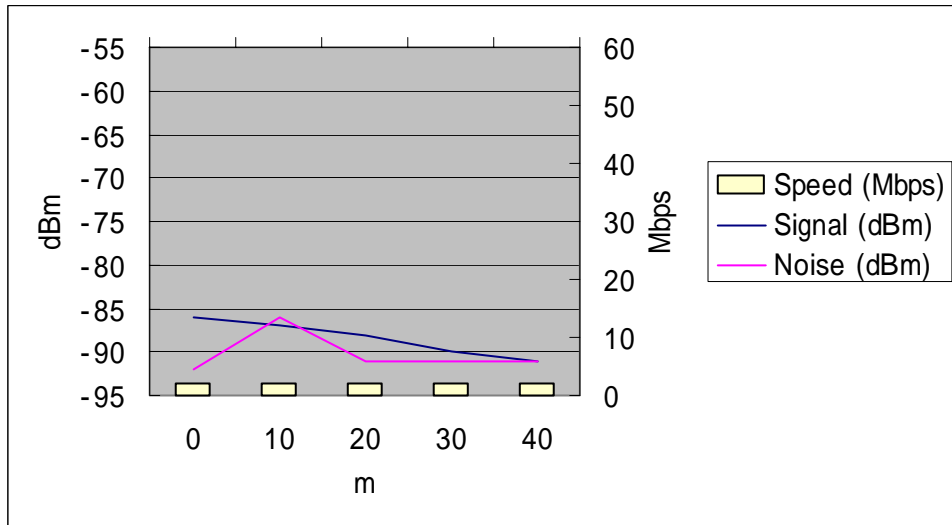


図 4.2. 109 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root4)

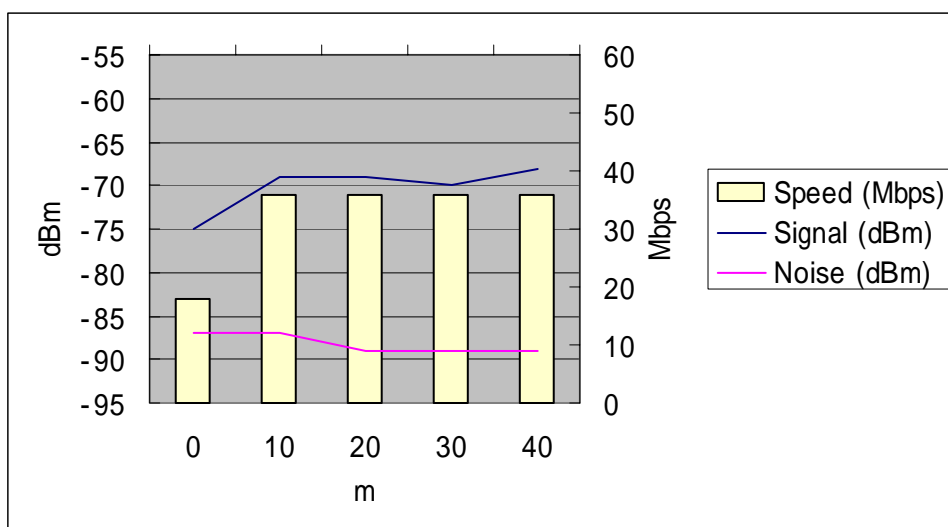


図 4.2. 110 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root1)

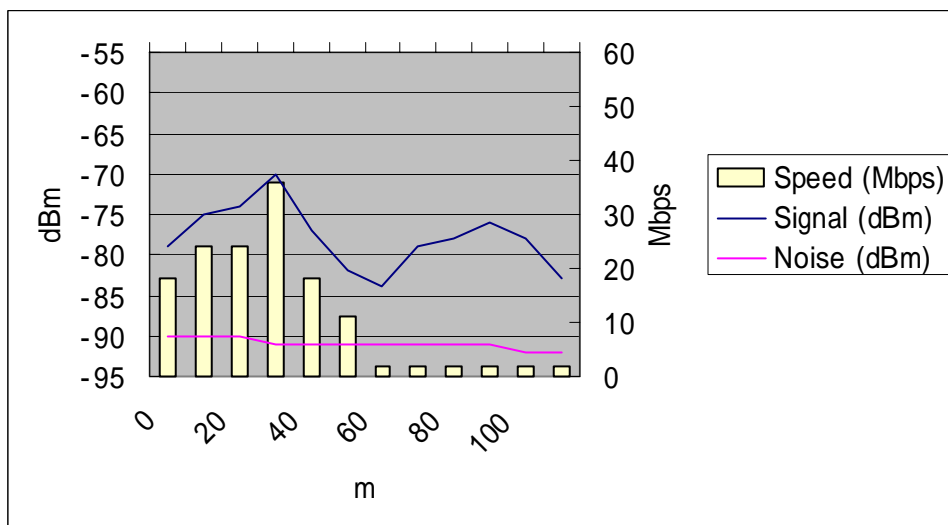


図 4.2. 111 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root2)

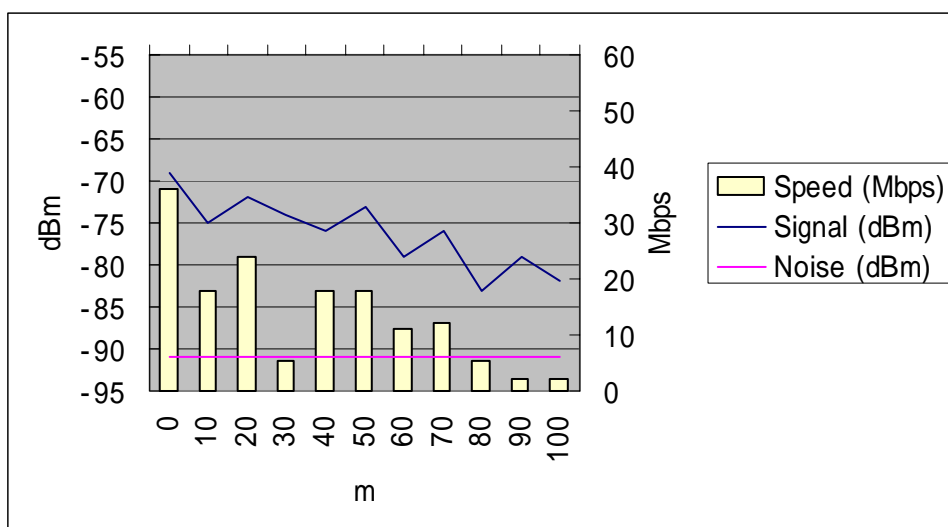


図 4.2. 112 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root3)

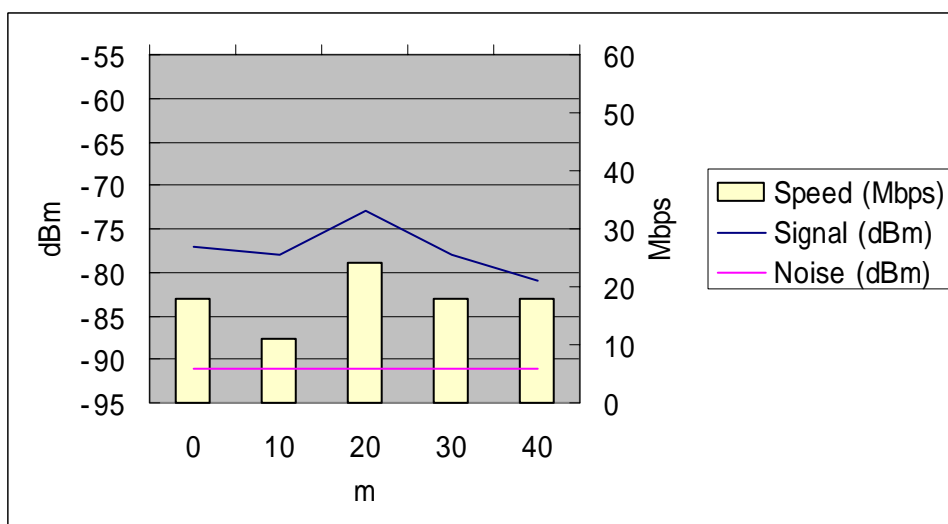


図 4.2. 113 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root4)

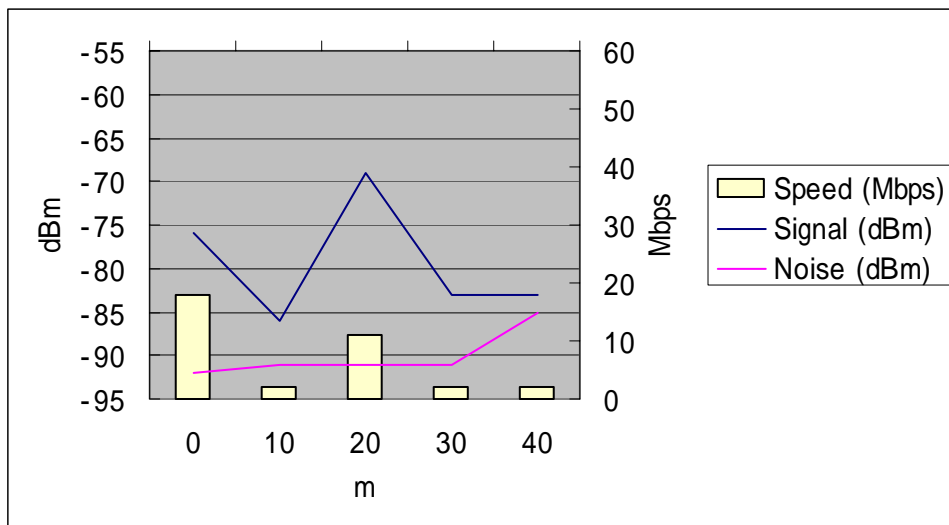


図 4.2. 114 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root5)

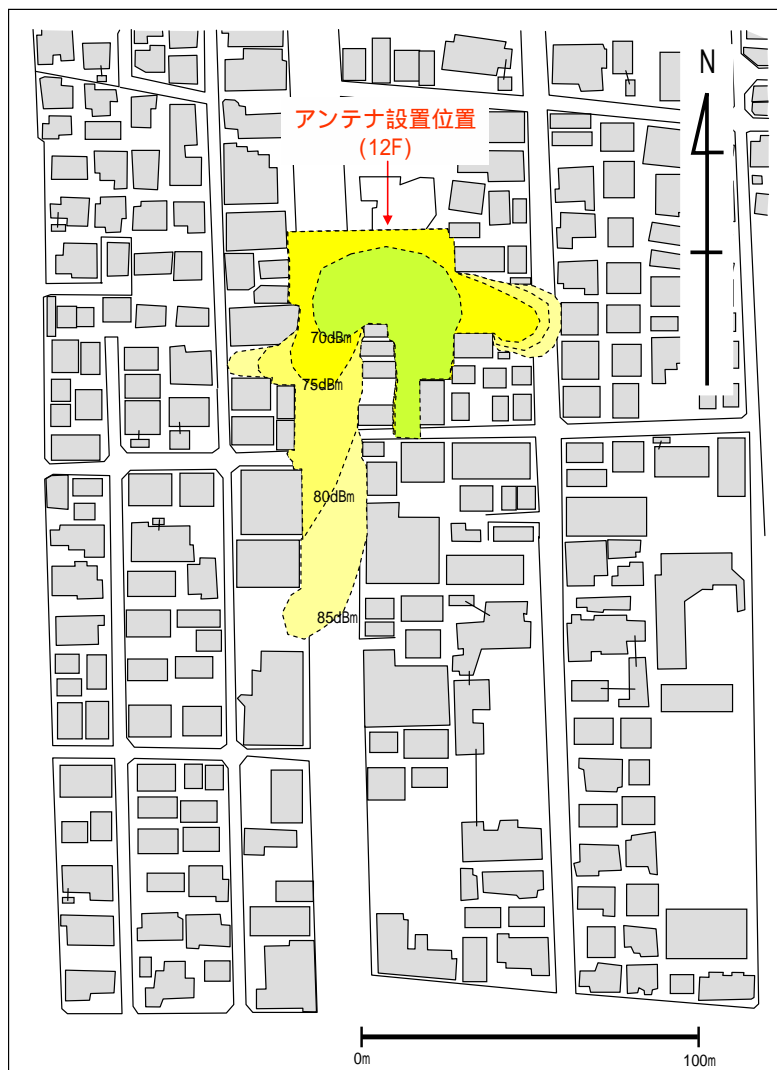


図 4.2. 115 電波強度分布図(学区内保護者宅 屋外用広指向性アンテナ)

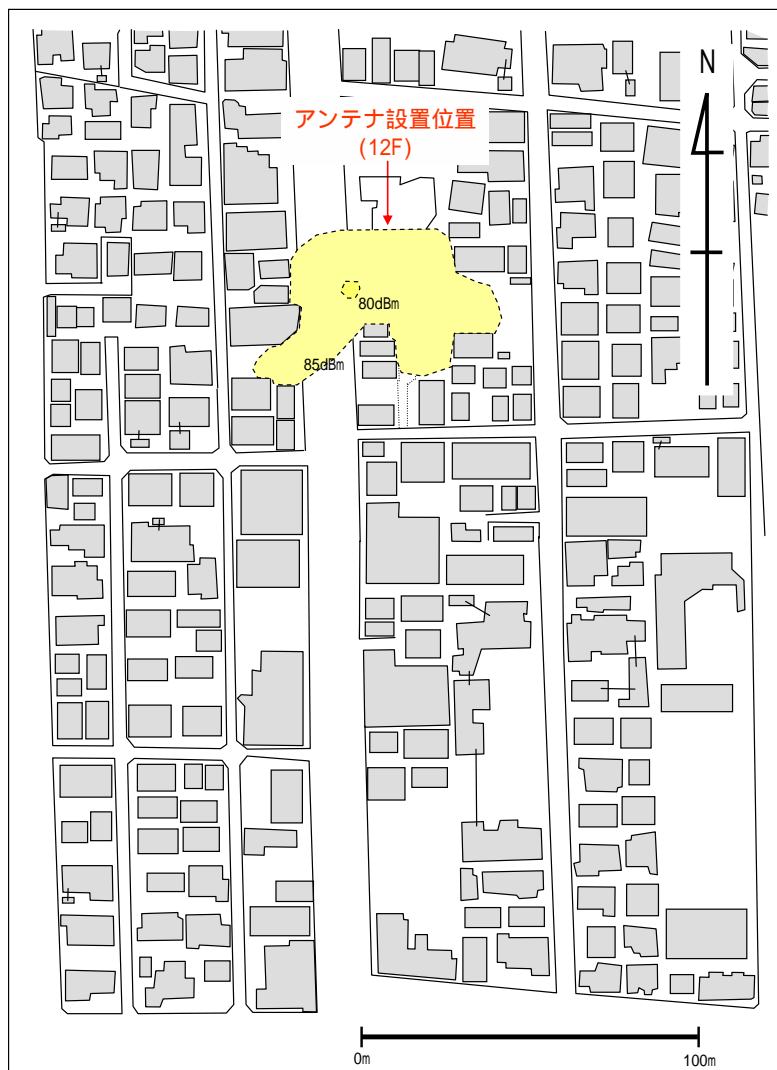


図 4.2. 116 電波強度分布図(学区内保護者宅 屋外用無指向性アンテナ)

各ポイントにおける FTP 測定結果は、表 4.2. 35 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)及び表 4.2. 36 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)である。なお、超高速無線 LAN アクセスポイント装置の外部アンテナとして屋外用無指向性アンテナを接続した場合、学区内保護者宅 周辺では内蔵アンテナを使用した場合でも屋内用無指向性アンテナを使用した場合でも超高速無線 LAN モバイルターミナル装置と超高速無線 LAN アクセスポイント装置との間でアソシエーションすることは可能であったが、IP レイヤでの通信が非常に不安定であったため FTP によるスループット測定をおこなうことができなかった。



表 4.2. 35 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	7.858	7.857	3.182	3.754	3.483	5.035	10.094	7.684
2	9.878	3.694	1.584	5.388	4.975	2.467	9.260	11.991
3	7.640	11.211	5.212	5.332	5.584	2.233	8.661	11.787
平均	8.459	7.587	3.326	4.825	4.681	3.245	9.338	10.487

表 4.2. 36 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	6.995	11.075	4.102	5.474	6.355	4.875	9.078	12.587
2	9.099	7.907	3.417	5.410	5.227	4.787	9.156	11.827
3	10.385	8.875	5.426	4.387	4.619	4.571	11.123	9.107
平均	8.826	9.286	4.315	5.090	5.400	4.744	9.785	11.174

各ポイントにおけるアプリケーションの測定結果を表 4.2. 37～表 4.2. 40 にまとめた。

表 4.2. 37 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	1	3	1	4
	実際のフレーム数	7.4fps	6.3fps	11.3fps	9.3fps
ポケット 2	使用感	b	b	b	b

表 4.2. 38 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	3	1	1	7
	実際のフレーム数	8.4fps	6.3fps	8.3fps	11.4fps
ポケット 2	使用感	b	b	b	b

表 4.2. 39 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0	0	5	0
	実際のフレーム数	26.4fps	25.5fps	27.6fps	24.5fps
ポケット2	使用感	a	a	a	a

表 4.2. 40 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0	0	0	0
	実際のフレーム数	27.9fps	28.3fps	29.4fps	26.6fps
ポケット2	使用感	a	a	a	a

### 3) 検証結論

本フィールドにおける検証の結論は以下である。

#### ア．通信速度

超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋外用無指向性アンテナを接続した場合の通信速度の測定は、アンテナの指向性から IP 通信が不安定になり、FTP によるファイル転送ができなかったため速度測定ができなかった。AirMagnet 無線 LAN アナライザを使用して超高速無線 LAN アクセスポイントおよび屋外用無指向性アンテナを設置した建物の周辺の調査をおこなったところ、電波強度の高いところでも-80dBm で、測定ポイントではいずれも-85dBm 以下であった(図 4.2. 116 電波強度分布図(学区内保護者宅屋外用無指向性アンテナ)を参照のこと)。電波強度が-85dBm 程度の場合、超高速無線 LAN システムを使用するのは難しいと思われる。

通信速度結果の詳細については、「2) 検証結果」を参照のこと。

#### イ．接続距離

基本的に、超高速無線 LAN アクセスポイント装置もしくは外部アンテナを見通すことのできる場所ならば通信することが可能であった。逆に、見通すことのできない場所であると近距離でも通信することができない。また、屋外用無指向性アンテナの場合、アンテナ特性である水平方向に対する指向性(半値角=15±5°)が強く、設置場所が12Fと高層であることから、見通せる場所であっても真下など広い範囲で通信することができなかった。AirMagnet 無線 LAN アナライザによる電波強度測定においても、超高速無線 LAN アクセスポイント装置に屋外用無指向性アンテナを接続した場合、測定エリ

アのほぼ全域で-90dBm以下とSignal/Noise比がほぼ1以下になり、通信状態は良くないと考えられる。また、図4.2.114 AirMagnetアナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root5)のように、ルートの途中で電波強度が一部上昇している場所がある。これはRoot3の途中で道路に隣接する家屋がなくなり、外部アンテナを見通せる場所に出たためである。ほぼ、同じ距離であるにもかかわらず、電波強度にして15dBmもの差がついていた。これは参考として、接続距離が約6倍になったのと同じ値である。

#### ウ．安定性

屋外用広指向性アンテナの場合、超高速無線 LAN アクセスポイント装置もしくは外部アンテナを見通すことができる場所ならば非常に安定的に通信することが可能であった。屋外用無指向性アンテナの場合、アンテナ特性である水平方向に対する指向性と設置場所が高層であるため、真下の広い範囲で通信が不安定であった。

#### エ．実際のアプリケーションによる性能測定

屋外用広指向性アンテナの場合、超高速無線 LAN アクセスポイント装置もしくは外部アンテナを見通すことができる場所ならば特に問題なく使用することが可能であった。屋外用無指向性アンテナの場合、設置場所の真下などの広い範囲で使用できない、もしくは使用感が悪かった。

### 4.2.4.3.4.学区内保護者宅

#### 1) 検証手順

本フィールドでは、図4.2.117 検証イメージ(学区内保護者宅)のように、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナ(WLE-HG-DA)を使用し、住宅密集地において超高速無線 LAN アクセスポイント装置を効率良く設置するための検証をおこなう。また、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナ(WLE-HG-NDC)を設置した場合についても同様に検証をおこない、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に外部アンテナとして屋内用無指向性アンテナ(WLE-NDR)を接続した場合についても同様の検証を行った。なお、無指向性アンテナは指向性の強い面が水平になるように設置、広指向性アンテナは真南の斜め下向き45°に指向性の強い方向が向くように設置した。



図 4.2. 117 検証イメージ(学区内保護者宅 )

超高速無線 LAN アクセスポイント装置を学区内保護者宅(2F)に設置し、AirMagnet アナライザを使用して、学区内保護者宅 の周辺で電波強度、ノイズ、フレームスピード等について計測した。計測ルートについては図 4.2. 118 無線 LAN アナライザ計測ルート(学区内保護者宅 )を参照のこと。

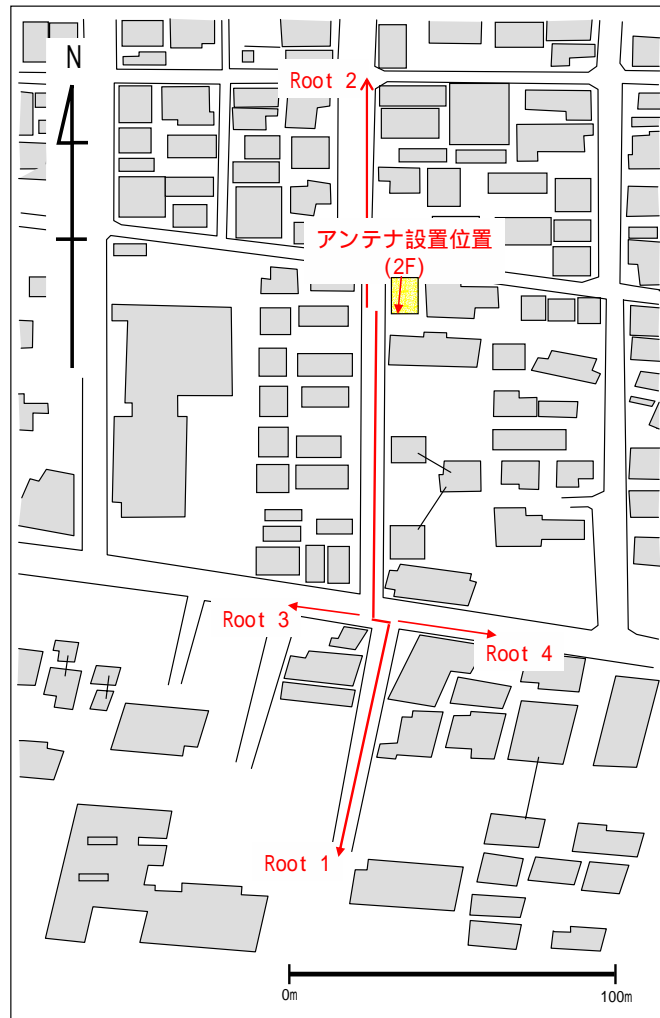


図 4.2. 118 無線 LAN アナライザ計測ルート(学区内保護者宅 )

超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び FTP サーバ端末を学区内保護者宅 に設置し、超高速無線 LAN 検証用端末(FTP クライアント端末)を使用して、学区内保護者宅 周辺でのスループットを測定し超高速無線 LAN システムの性能測定を行った。測定ポイントの詳細については図 4.2. 105 FTP 測定ポイント(学区内保護者宅 )を参照のこと。

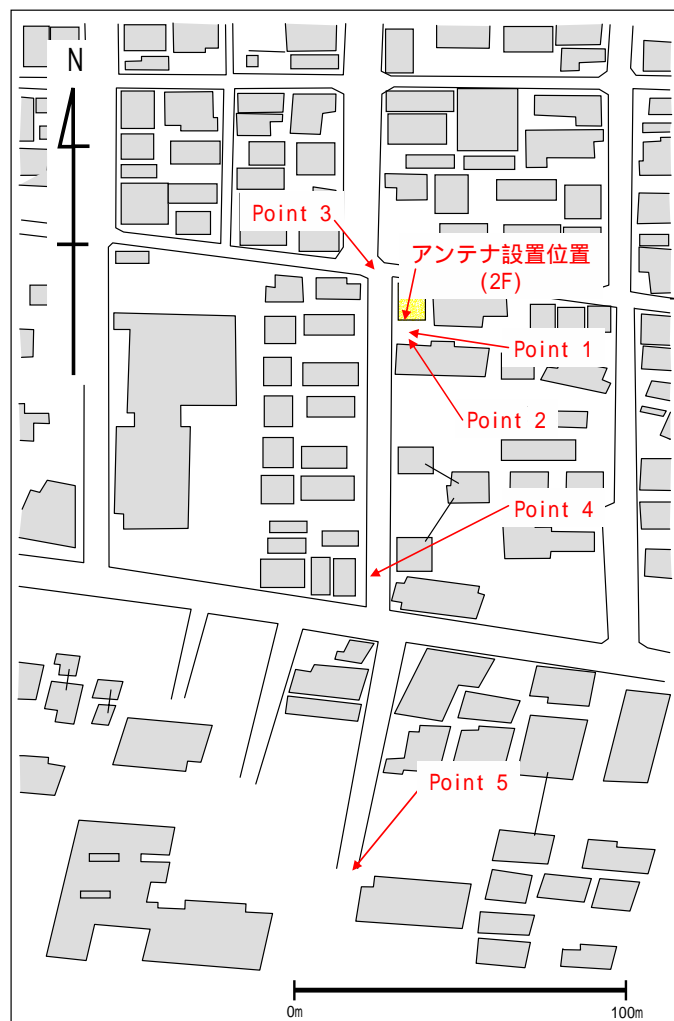


図 4.2. 119 FTP 測定ポイント(学区内保護者宅 )

## 2) 検証結果

学区内保護者宅 周辺の各ルートにおいて、外部アンテナに屋外用広指向性アンテナを使用した場合の AirMagnet アナライザの測定を結果グラフにまとめたものは図 4.2. 120 ~ 図 4.2. 123 であり、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナを使用した場合の AirMagnet アナライザの測定結果をグラフにまとめたものは図 4.2. 124 ~ 図 4.2. 127 である。また、図 4.2. 120 から図 4.2. 127 の結果を踏まえ、学区内保護者宅 周辺における電波強度の分布状況を図 4.2. 128 及び図 4.2. 129 にまとめた。

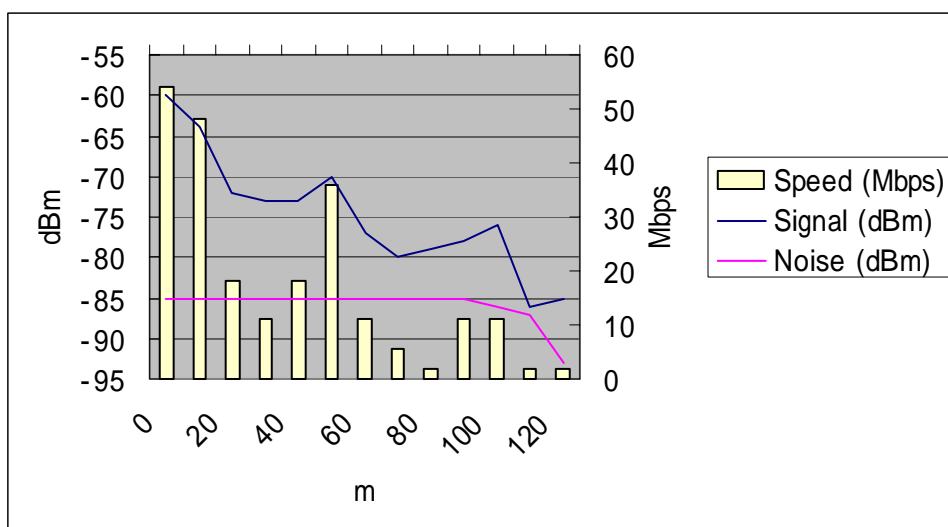


図 4.2. 120 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root1)

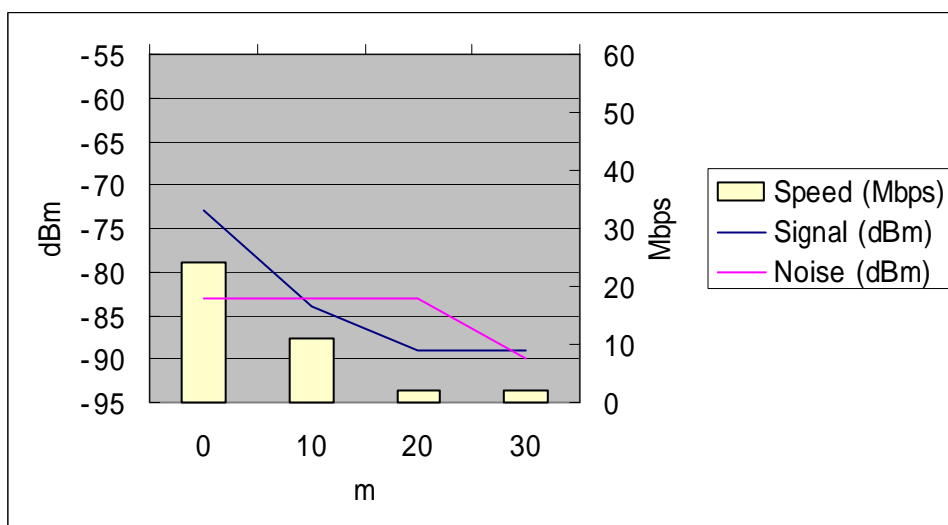


図 4.2. 121 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root2)

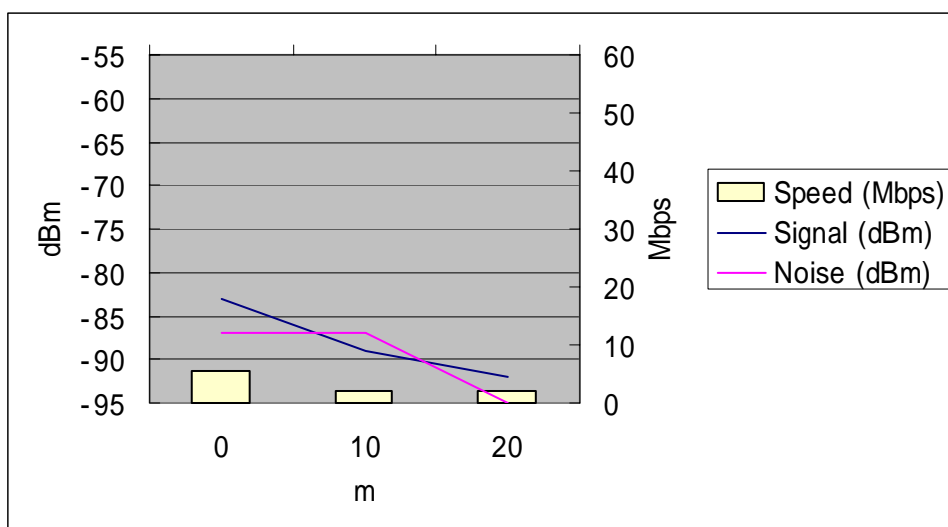


図 4.2. 122 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root3)

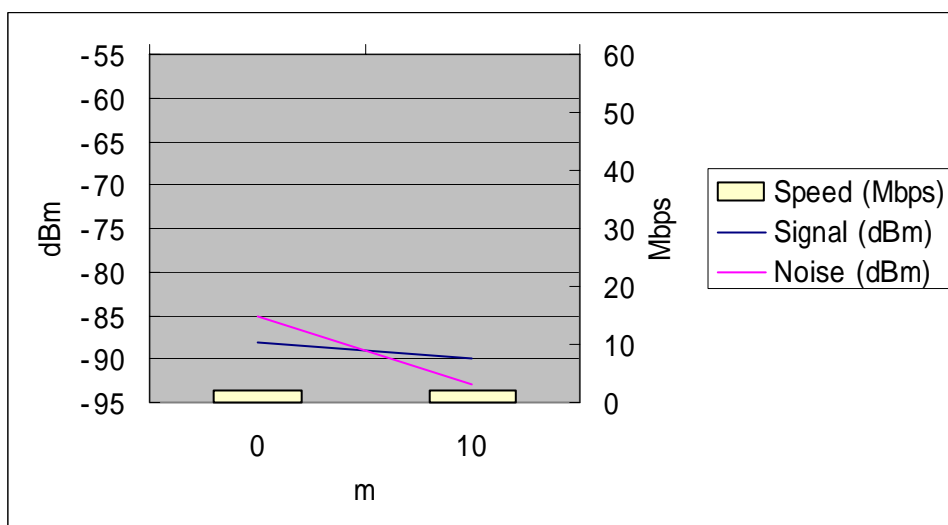


図 4.2. 123 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用広指向性アンテナ Root4)



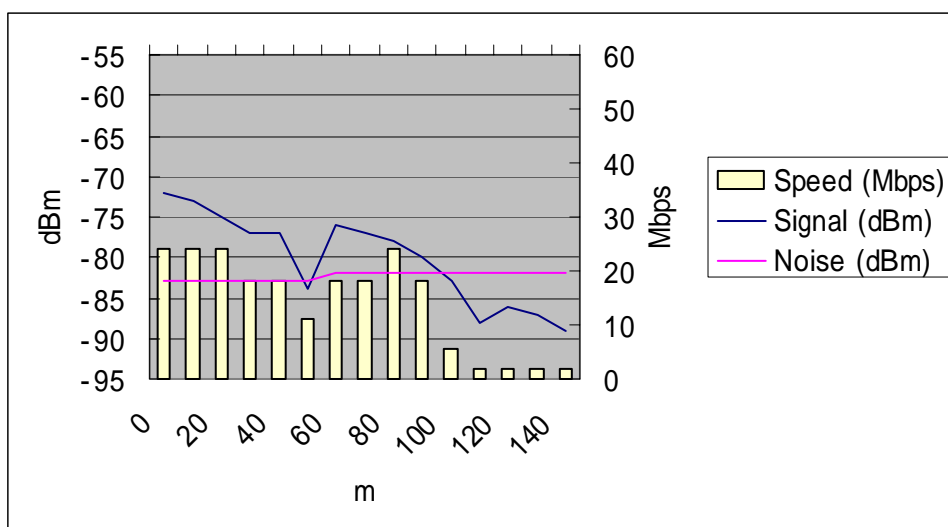


図 4.2. 124 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root1)

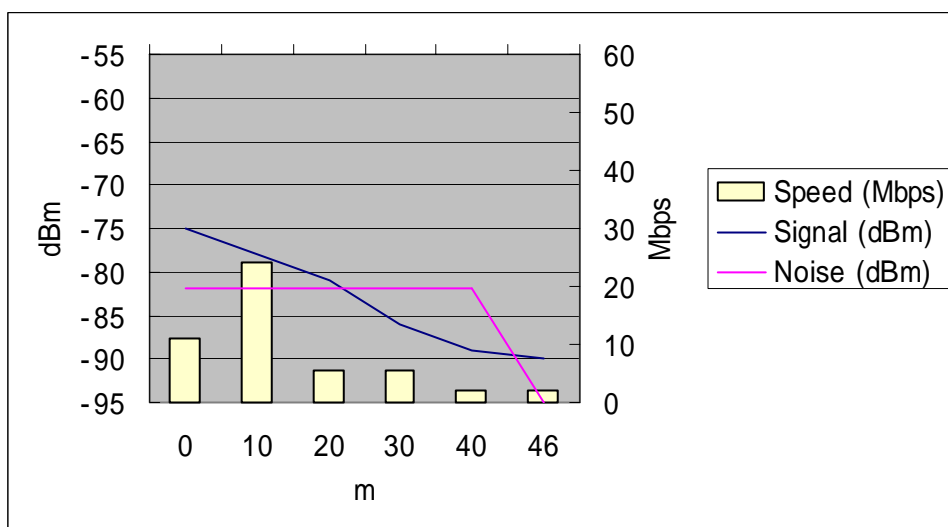


図 4.2. 125 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root2)

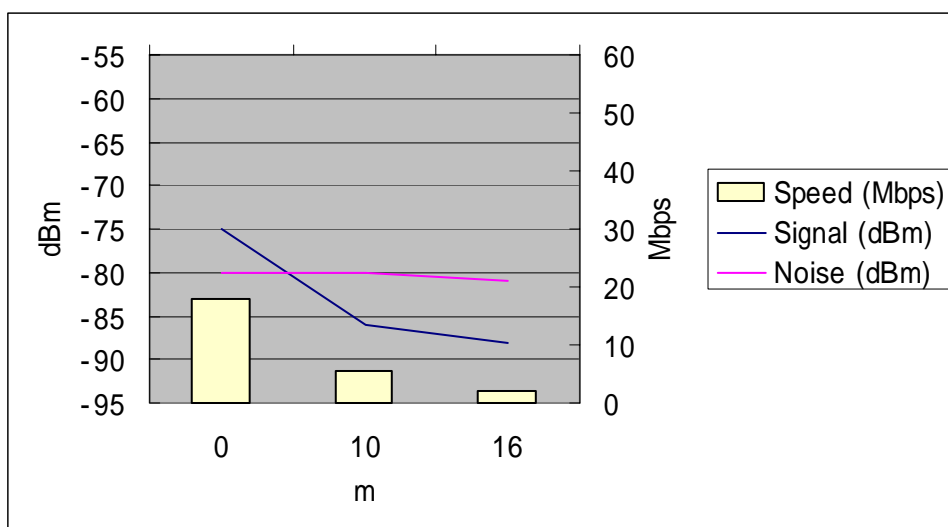


図 4.2. 126 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root3)

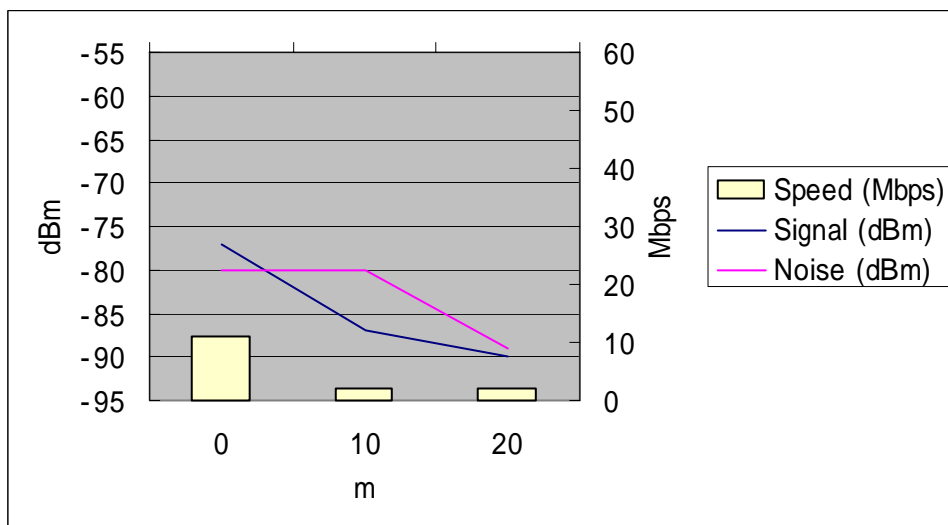


図 4.2. 127 AirMagnet アナライザ測定結果(学区 屋外用無指向性アンテナ Root4)

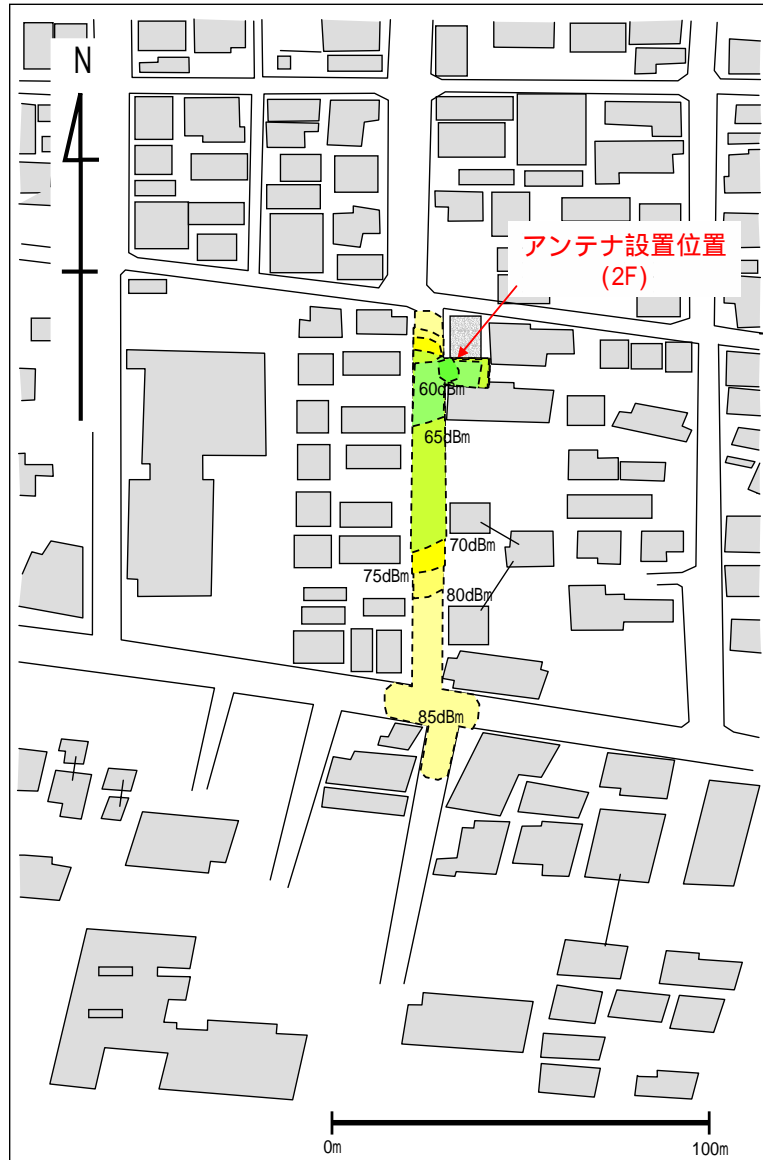


图 4.2. 128 電波強度分布図(学区内保護者宅 屋外用広指向性アンテナ)

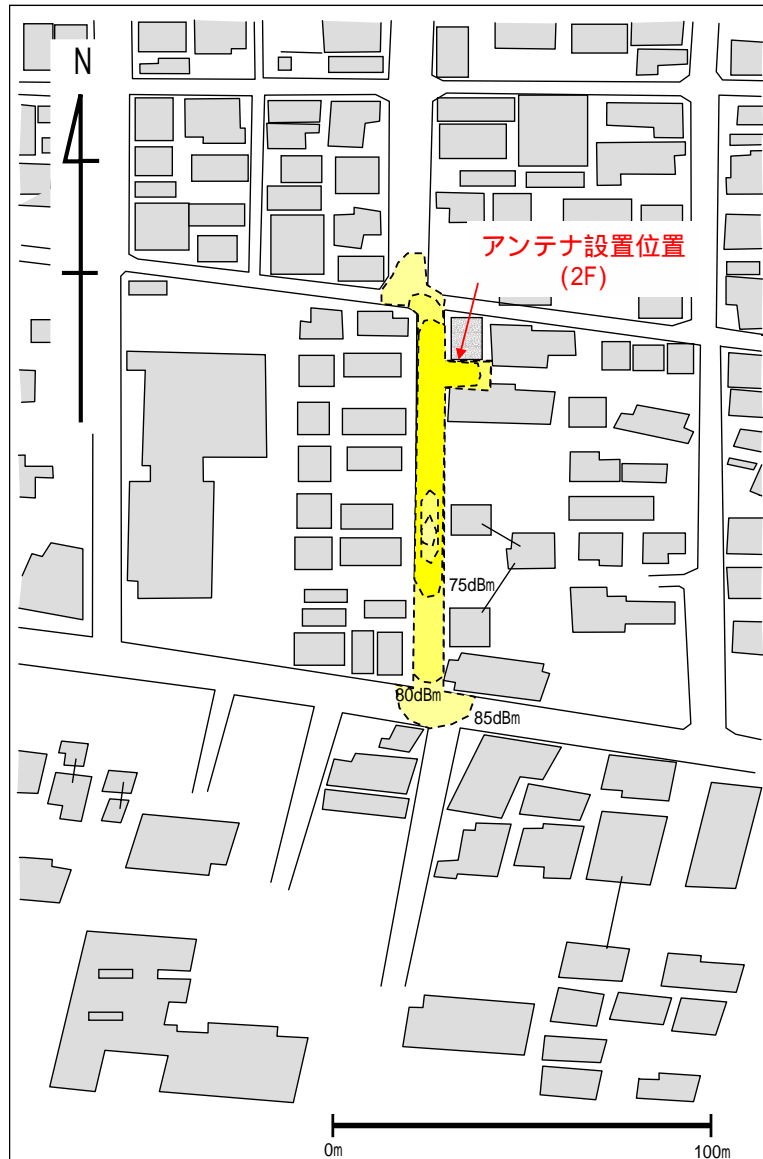


図 4.2. 129 電波強度分布図(学区内保護者宅 屋外用無指向性アンテナ)

各ポイントにおける FTP 測定結果は表 4.2.35～表 4.2.44 である。なお、Point5 においては超高速無線 LAN アクセスポイント装置に外部アンテナとして屋外用広指向性アンテナを使用し、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に屋内用無指向性アンテナを使用した場合のみ両者がアソシエーションした。それ以外の場合ではアソシエーションすることができなかつたため、FTP によるスループット測定をおこなうことができなかった。

表 4.2. 41 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	6.154	6.354	4.296	5.401	3.642	2.340	5.427	3.155
2	5.426	5.114	5.122	6.780	4.145	3.510	5.694	4.451
3	5.203	5.275	5.187	4.586	3.080	3.269	2.514	4.293
平均	5.594	5.581	4.868	5.589	3.622	3.040	4.545	3.967

表 4.2. 42 FTP 測定結果(AP=屋外用広指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4		Point 5	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	11.827	8.874	11.497	8.610	2.757	2.580	9.314	6.431	3.413	2.624
2	12.394	10.304	11.923	8.414	2.068	1.152	5.966	8.289	3.817	2.098
3	11.027	9.552	9.138	10.930	3.059	2.023	7.353	5.698	3.621	2.183
平均	11.749	9.577	10.853	9.318	2.628	1.918	7.544	6.806	3.617	2.302

表 4.2. 43 FTP 測定結果(AP=屋外用無指向性アンテナ 端末=内蔵アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	4.858	8.399	12.725	10.948	4.730	4.589	5.466	7.303
2	8.979	10.269	13.008	10.888	5.388	7.055	5.826	7.202
3	11.154	10.664	12.804	10.397	6.353	6.083	6.713	8.416
平均	8.330	9.777	12.846	10.744	5.490	5.909	6.002	7.640

表 4.2. 44 FTP 測定結果(AP=屋外用無指向性アンテナ 端末=屋内用無指向性アンテナ)

回数	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4	
	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)	put (Mbps)	get (Mbps)
1	6.413	7.031	6.681	11.430	7.153	4.998	5.699	3.817
2	5.644	8.789	4.120	11.820	3.796	4.051	5.819	4.362
3	5.299	7.153	6.101	11.493	5.786	6.354	5.762	0.173
平均	5.785	7.658	5.634	11.581	5.578	5.135	5.760	2.784

各ポイントにおけるアプリケーションの測定結果を表 4.2.45 ~ 表 4.2.48 にまとめた。

表 4.2. 45 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	1	0	6	0
	実際のフレーム数	26.4	24.5	25.5	24.2
ポケット 2	使用感	a	a	a	a

表 4.2. 46 アプリケーション測定結果(AP=屋外用無指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0	0	4	3
	実際のフレーム数	24.4	25.5	26.3	24.6
ポケット 2	使用感	a	a	a	a

表 4.2. 47 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=内蔵)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	1	0	6	0
	実際のフレーム数	26.4fps	24.5fps	25.5fps	24.2fps
ポケット 2	使用感	a	a	a	a

表 4.2. 48 アプリケーション測定結果(AP=屋外用広指向性 端末=屋内用無指向性)

アプリケーション	評価項目	Point 1	Point 2	Point 3	Poin 4
三鷹ポータル(WMP)	スキップしたフレーム数	0	0	4	3
	実際のフレーム数	24.4fps	25.5fps	26.3fps	24.6fps
ポケット2	使用感	a	a	a	a

### 3) 検証結論

本フィールドにおける検証の結論は以下である。

#### 通信速度

Point3 は超高速無線 LAN アクセスポイント装置および外部アンテナとの距離が 20m 程度であるが、外部アンテナを設置している方向(真南)と逆であり、設置宅の影になり見通すことができないので、通信速度は距離に比べて悪かった。外部アンテナに屋外用無指向性アンテナを使用した場合は近距離でアンテナの見通せる場所にある Point1 や Point2 での通信速度に比べて 50%程度であるが、外部アンテナに屋外用広指向性を使用した場合は、前方への指向性が高い分、アンテナ後方への指向性が低いため通信速度が Point1 や Point2 に比べて 20～30%にまで落ち込んでいた。逆に、外部アンテナに屋外用無指向性アンテナを使用した場合、Point5 では通信することができないが、屋外用広指向性アンテナを使用した場合(ただし、超高速モバイルターミナル装置に屋内用無指向性アンテナを接続)には 2～4Mbps 程度の通信速度で通信することが可能であった。

詳細は、「2) 検証結果」を参照のこと。

#### 接続距離

外部アンテナを見通すことのできる場所ならば、通信することが可能であった。逆に、見通すことのできない場所であると近距離でも通信することができない。AirMagnet 無線 LAN アナライザによる電波強度測定をしたところ、Root1 の大通りとの交差点付近(100m)から超高速無線 LAN アクセスポイント装置との見通しがやや悪くなるため、電波強度の値が距離の 10m ほどで約 10dBm も減少した。また、Point5 などのやや見通すことができず遠距離(約 140m)ので通信ができない場合に、超高速無線 LAN モバイルターミナル装置に屋内用無指向性アンテナ(アンテナ利得 2dBi 以上)を接続することによって通信することが可能になった。

#### 安定性

外部アンテナを見通すことのできる場所ならば、非常に安定的に通信することが可能であった。また上記にもあるとおり、Root1 で超高速無線 LAN アクセスポイント装置から 100m ほどの場所で見通しがやや悪くなるため、それ以降では通信の安

定性もやや落ち、FTP 測定の際も転送中にエラーとなってしまうことがあった。  
実際のアプリケーションによる性能測定

校庭内で外部アンテナをを見通すことができる場所ならば、特に問題なく使用することが可能であった。

#### 4.2.4.4. 考察

超高速無線 LAN システムに外部アンテナを導入することによる、小・中学校内や施設、学区・家庭内など、屋外屋内を問わないユビキタスな無線 LAN 環境及び IPv6 ネットワークの構築について以下に考察する。

##### 4.2.4.4.1. 外部アンテナの特徴と有効性

2.4GHz 帯を使用した IEEE802.11g 規格の超高速無線 LAN システム及び外部アンテナを屋外で使用する場合の特徴として、本検証によって明らかになったことは以下にまとめる。

- 1) 超高速無線 LAN システムの送信側と受信側の外部アンテナが見通すことができなければ、通信することができない。
- 2) 超高速無線 LAN システムの送信側と受信側が見通すことができる、障害物がない場合、アンテナ 1 つでカバーすることのできるエリアは広い。
- 3) 1 台の超高速無線 LAN アクセスポイント装置に対して、同時に利用できる超高速無線 LAN 端末は約 20 台程度までである。

原因は、無線 LAN システムではアクセスポイントの処理できる通信帯域を無線 LAN 端末によってシェアするため。つまり、接続する無線 LAN 端末が多くなればなるほど、端末 1 台あたりの通信帯域は低くなる。「4.2.1 超高速無線 LAN システムの長期安定動作に関する検証」でもあるように、1 台の無線 LAN アクセスポイントで利用できる超高速無線 LAN モバイルターミナル装置は約 20 台程度が限界と考えられる。

- 4) 天候による影響を受けやすく、雨や雪などが降ると通信性能が低下する。

##### 4.2.4.4.2. 設計手法の考察

超高速無線 LAN システム及び外部アンテナの特徴と有効性から、本検証をおこなう前に想定していた“住宅密集地を共用型の無線 LAN システムで可能な限り広い範囲をカバーしていく”という設計思想の問題点がいくつか考えられる。

- 住宅地密集地の複雑な構造物
- 一般ユーザも使用可能な ISM バンドを使用する 2.4GHz 帯でのチャンネル設計



- 一定の通信品質を保つために必要な性能検査等の運用管理稼働
- 大量のアクセスポイントや高性能な外部アンテナの設置するコスト

それら多くの問題を解決するためには、技術面においてもコスト面においても膨大な負担を迫られることになる。

そのため、“ 共用式の無線 LAN システムを可能な限り設置せず、各利用ロケーションまでは無線 LAN 以外の方法で IPv6 対応のインターネットに接続し、そのロケーション内で無線 LAN 環境を構築する ” という方向へ設計思想を転換する必要がある。

上記を踏まえて、学校教育などの教育分野において想定される利用シーンに対して、無線 LAN システムの構築方法の組み合わせとして以下のような設計手法が考えることができる。

#### 1) 各家庭・施設における設計手法

学校から帰宅後の利用を想定。既存の ADSL、FTTH、CATV などのインターネット回線を IPv6 インターネットに対応させ、無線 LAN アクセスポイント内蔵アンテナもしくは屋内用外部アンテナなどを使用して無線 LAN 環境を実現する。

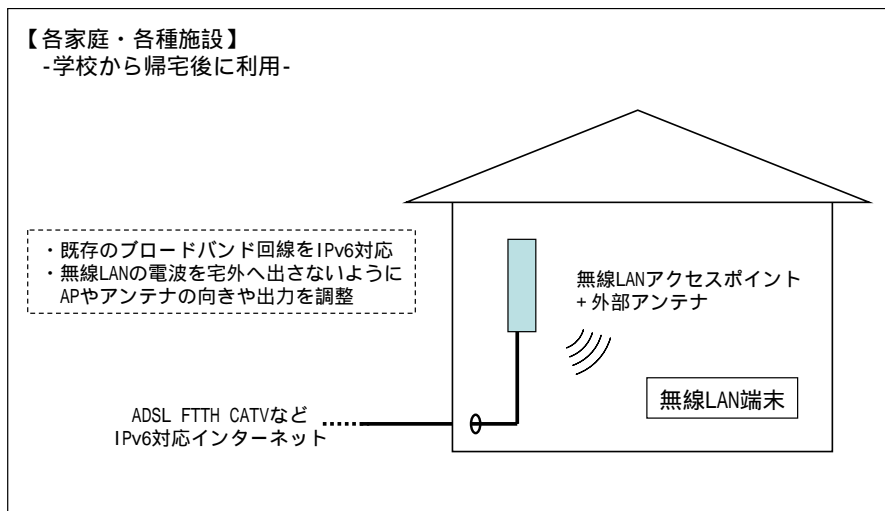


図 4.2. 130 各家庭・各種施設における無線 LAN 設計手法

#### 2) 商店街・校庭・公園における設計手法

課外授業や遠隔授業での利用を想定し、多人数、高トラフィックにも耐えることができるようにダークファイバーなどを用いて IPv6 インターネットに接続する。場合によっては、複数の無線 LAN アクセスポイントを設置するが、各アンテナの指向特性、無線 LAN アクセスポイントの設置場所や設置方向、電波出力の調整を適切におこない、必要以上に電波が

飛んでしまわないように注意する必要がある。

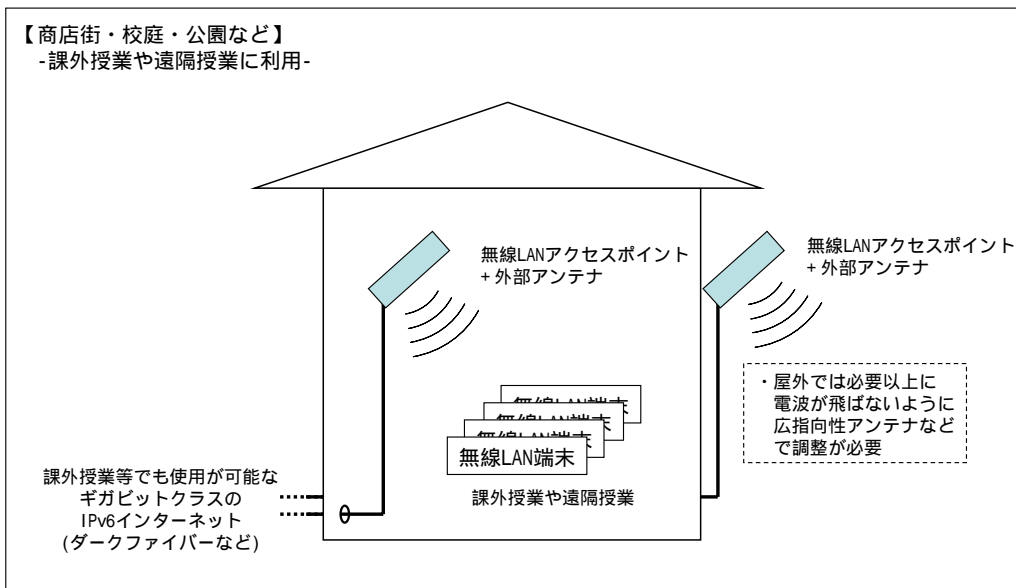


図 4.2. 131 商店街・校庭・公園における無線 LAN 設計手法

### 3) 住宅街における設計手法

インフラ上の問題や住宅の状況など何らかの理由でインターネットに接続することができない宅での利用を想定する。また、無線 LAN アクセスポイント及び無指向性アンテナを見通しの良い場所に設置し、広い範囲をカバーする。しかし、前述したとおり電波干渉などを考慮し現地調査等を詳細に実施する必要がある。

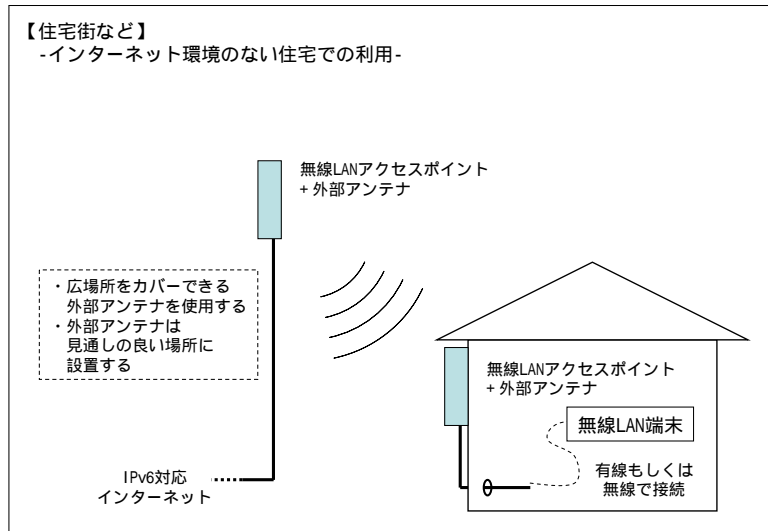


図 4.2. 132 住宅街における無線 LAN 設計手法

#### 4.2.4.4.3.屋外における無線環境の構築モデル

また、学校教育などの教育分野を越えて広く屋外における無線 LAN 環境の設計手法として以下のような構築モデルを提案する。

##### 1) 屋外無線 LAN 環境構築モデル

超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び屋外用無指向性アンテナもしくは屋外用広指向性アンテナを 3F ~ 4F 程度の建造物の屋上部や電柱の登頂部に設置し、見通すことができる範囲で周辺の半径 50m に超高速無線 LAN システムの利用を提供する形態。利用する建物にも屋外用指向性アンテナもしくは屋外用広指向性アンテナを設置し効率的に利用することを可能とする。図 4.2. 133 屋外無線 LAN 環境構築モデル を参照のこと。

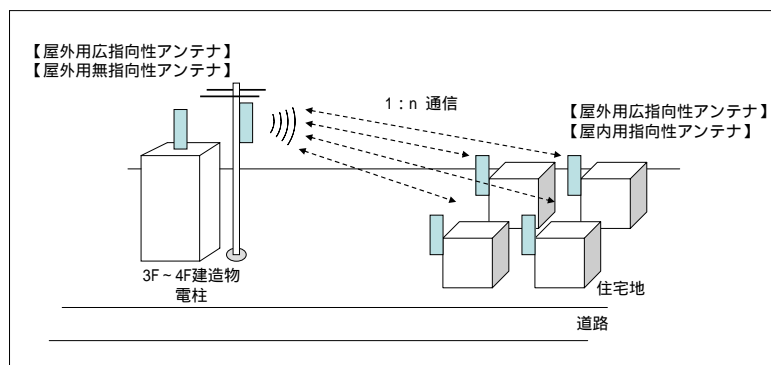


図 4.2. 133 屋外無線 LAN 環境構築モデル

## 2) 屋外無線 LAN 環境構築モデル

屋外に設置した超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び外部アンテナでは、見通すことができる場所だけでしか超高速無線 LAN システムを利用できないため、屋内で利用をすることができない。そのため、窓辺もしくは屋外に超高速無線 LAN システムと有線 LAN のメディアコンバータを設置し、いったん無線を有線(イーサネット)に変換する。それを超高速無線 LAN アクセスポイント装置のイーサネットのインターフェースに接続し、屋内で再度、超高速無線 LAN システムに変換する形態。図 4.2. 134 屋外無線 LAN 環境構築モデル を参照のこと。

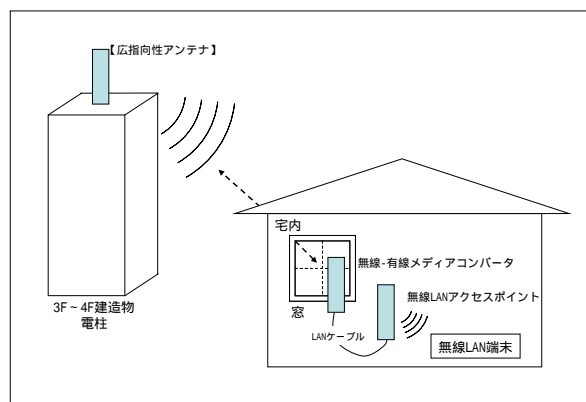


図 4.2. 134 屋外無線 LAN 環境構築モデル

## 3) 屋外無線 LAN 環境構築モデル

超高速無線 LAN アクセスポイント装置及び屋外用広指向性アンテナを電柱や角地に立地する建物の 2F 等に設置して、電柱や建物の面する道路に対して電波を照射し、路上や道路に面した庭などでの超高速無線 LAN システムを利用可能とする。屋外用広指向性アンテナは指向特性から道路を見渡せる方向に下向きに約 45° 傾けて設置すると効果的である。図 4.2. 135 屋外無線 LAN 環境構築モデル を参照のこと。

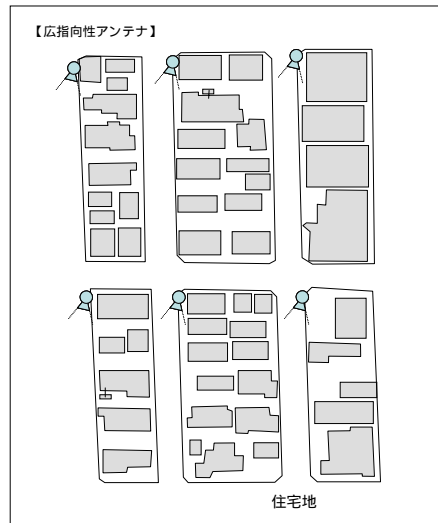


図 4.2. 135 屋外無線 LAN 環境構築モデル

#### 4.2.4.4.4. 今後の課題

本検証では学校教育という利用シーンを考慮に入れた設計手法を考察したが、本検証の結果を踏まえ、今後も以下のような課題に対してさらに検討が必要になるとと思われる。

##### 1) 電波資源の管理

大量の無線 LAN アクセスポイントを設置する必要があるため、そのチャンネル設計や性能管理等が課題になる。以下の、5.0GHz 帯の無線 LAN システムの展開やロードバランス機能を活用することが電波資源を管理する上でひとつの有効な手段であると考えられる

##### 5.0GHz 帯を使用した無線 LAN

本検証では、2.4GHz 帯の IEEE802.11g 規格の無線 LAN を使用した。2.4GHz 帯は ISM バンドとも呼ばれ無線 LAN 以外の電子レンジや医療機器にも使用することが認められている。そのため、無線 LAN 以外の様々な製品から発生する電波からの干渉によってパフォーマンスが下がってしまうことがある。

IEEE802.11g 規格以外の超高速無線 LAN システムとして 5.0GHz 帯の周波数を使用した IEEE802.11a 規格の無線 LAN がある。IEEE802.11a 規格の特徴は、ISM バンドを使用しないため無線 LAN 以外の機器から発せられる電波の干渉による性能低下がない。また、2.4GHz 帯を使用するよりも、周波数が高いため障害物の透過性や反射率が小さく、必要以外の場所に電波が漏れてしまうことも 2.4GHz 帯に比べて少ない。

我が国では現在のところ同じ 5.0GHz 帯の周波数を使用する一部のレーダ無線との混信を避けるために、IEEE802.11a 規格の無線 LAN を屋外での使用はできず、使用でき

るチャンネル数も4チャンネルと2.4GHz帯の13チャンネルと比べると少ない。しかし、既存のレーダ無線等との共立条件を確立させ、屋外での使用や使用可能なチャンネル数の増加が検討されている。チャンネルの増加によって設計の自由度が増し、さらに屋外での使用も可能になれば屋内屋外を問わない無線LAN環境の構築に有効であると考えられる。

#### ロードバランス機能

教室など多数の無線LAN端末を比較的狭い場所で使用する場合、無線LANアクセスポイント装置同士の電波干渉を考慮すると、多くの無線LANアクセスポイントを近接して設置することは望ましくない。その限られた無線LANアクセスポイント装置を有効に利用するには、一部の無線LANアクセスポイント装置に負荷がかかり過ぎないようにする、ロードバランス機能を装備した無線LANアクセスポイント装置や無線LANスイッチというような無線LANアクセスポイント装置を制御するような設備を導入することが必要だと考えられる。現在も、そのような機能を持つ機器は存在するが高価で設定等に専門的知識が必要である。無線LAN環境の普及のためには、より安価で設定の簡単は無線LANの負荷を制御する装置が求められている。

## 2) セキュリティ

共用型の無線LANシステムでは、設置宅の居住者など以外の他人もネットワークに接続するためセキュリティを向上する必要がある。無線LANのセキュリティを高める上でいくつかの方法があるが、大きく分けてデータを暗号化する方法、無線LANシステムへのアクセスを制限する方法があり、以下にそれらの無線LANシステムにおけるセキュリティについて考察する。

#### データを暗号化する無線方法

無線LANにおいてデータを暗号化する方法として、WEP(Wire Equivalent Privacy)とWPA(Wi-Fi Protected Access)の2種類がある。WEPは64bitもしくは128bitの暗号鍵を無線LANアクセスポイント装置と無線LAN端末の両方に設定する共通鍵方式の暗号であり、暗号鍵は長いほど安全性は高い。ユーザが設定するのはそれぞれ40bitもしくは104bit分で、残りの24bitはパケットごとに変化する文字列をIV鍵としてWEPキーに加えて暗号鍵としている。WEPはIV鍵が24bitと短いことや、実質的な鍵部分になる64bitもしくは128bitのユーザ設定部分が固定的で短いため、同じ暗号鍵で暗号化されたパケットを大量に収集することによって暗号が解析されてしまう恐れがあると指摘されている。

それらWEPの暗号化の弱点を解消する技術がWPAである。WPAはTKIP(Temporal Key

Protocol) という暗号化方式を用いてデータを暗号化する。ユーザは WPA-PSK(WPA-Pre-Shared Key)と呼ばれる 8~63 文字のパスフレーズを入力し、決められたアルゴリズムに従い 128bit の暗号鍵に変換される。TKIP では IV 鍵を 48bit に拡張し同じ IV 鍵を使用する頻度を減らした。また、ユーザが入力した WPA-PSK から暗号鍵を作成する方法を WEP と比べて複雑にしてパケットごとに毎回異なる暗号鍵を生成することを可能にした。また、TKIP も WEP も RC4 という同じ暗号化アルゴリズムを使うため現在普及している WEP 対応の機器もファームウェアの改良等で対応可能である。

#### 無線システムへのアクセスを制限する方法

無線 LAN システムへのアクセスを制限する方法として、MAC アドレスフィルタと 802.1x 認証がある。前者は各無線 LAN アクセスポイント装置に無線 LAN モバイルターミナル装置の MAC アドレスを登録し、登録済みの無線 LAN モバイルターミナル装置からのアクセスのみを許可する方法で、多くの無線 LAN アクセスポイント装置で対応可能で手軽に導入できる。しかし、弱点として認証しているのは無線 LAN モバイルターミナル装置の MAC アドレスだけで、ユーザ個人を認証しているわけではないことが挙げられる。登録済みの無線 LAN モバイルターミナル装置を使用すれば誰でもアクセスすることは可能であるし、MAC アドレスは無線 LAN パケットのヘッダー部分に暗号化されずに書かれているため、それを読み取って MAC アドレスを詐称することにより無線 LAN アクセスポイント装置にアクセスすることが可能である。

後者の 802.1x 認証の仕組みについて、無線 LAN システムに接続するためにユーザは ID やパスワードなどのユーザ情報を入力する、無線 LAN アクセスポイントはそれらのユーザ情報を認証サーバに転送する、認証サーバではユーザ情報を一元的に管理し、ユーザ情報から無線 LAN システムへの接続の可否を判断し、その情報を無線 LAN アクセスポイントに戻す、その情報に従って無線 LAN アクセスポイントはユーザのアクセスを許可(拒否)する。もともとはダイヤルアップ接続するユーザの認証と課金管理をおこなうために開発された仕組みであるため、セキュリティとして信頼性が高いが認証サーバ(ソフトウェア)、802.1x 対応済みの無線 LAN アクセスポイント装置が必要であり、互換性のない様々な認証方式があり、認証方式によっては無線 LAN 端末にソフトウェア(サブリカント)が必要なため非常にコストがかかる場合がある。また、認証サーバの導入・運用に高度なスキルが求められる。これらの課題を解決しセキュリティが十分に確保されることが無線 LAN システムを普及する上で課題となる。

### 3) IPv6 対応

各 ISP における IPv6 の普及の進んでいないことや、IPv6 対応ルータで家庭用として使用

できるような廉価なものが少ないことが課題であると言える。それらの課題に対して、各 ISP や機器ベンダの企業努力や国や地方自治体による IPv6 導入推進政策、ユーザ側の IPv6 に対する強い要望、IPv4 のプライベートアドレス環境下においても IPv6 が使用できるような装置の開発が必要であると考えられる。