

# 無線 LAN の実験

理想環境と閉鎖環境に於ける性能評価

2002 年 12 月

モバイルブロードバンド協会  
ハードウェア分科会

## 目次

|       |                        |   |                     |                                |    |
|-------|------------------------|---|---------------------|--------------------------------|----|
| 1     | 実験目的                   | 3 | 3.3.2 階段教室（閉鎖環境 1）  | 9                              |    |
| 2     | 実験の概要                  | 3 | 3.3.3 普通教室（閉鎖環境 2）  | 9                              |    |
| 2.1   | 実験環境                   | 3 | 3.3.4 普通教室（アンテナテスト） | 10                             |    |
| 2.2   | 実験日時・場所                | 3 | 4                   | 実験結果                           | 10 |
| 2.2.1 | 電波暗室（理想環境）             | 3 | 4.1                 | 転送レート                          | 10 |
| 2.2.2 | 閉鎖環境（大学教室）             | 4 | 4.1.1               | 電波暗室における転送レート                  | 11 |
| 2.3   | 実験項目                   | 4 | 4.1.2               | 同一端末台数における実験環境の違いと端末毎の転送レート    | 11 |
| 2.3.1 | 電波暗室（理想環境）             | 4 | 4.2                 | 転送レート対端末台数ヒストグラム               | 11 |
| 2.3.2 | 閉鎖環境                   | 4 | 4.2.1               | 電波暗室における転送レート対端末台数ヒストグラム       | 11 |
| 2.4   | 端末台数、参加人数等の決定までの過程     | 4 | 4.2.2               | 教室における転送レート対端末台数ヒストグラム         | 11 |
| 3     | 実験内容                   | 5 | 4.2.3               | アンテナの種類を変えた場合の転送レート対端末台数ヒストグラム | 12 |
| 3.1   | 実験システム                 | 5 | 4.3                 | 端末毎の速度の偏差値                     | 12 |
| 3.1.1 | 電波暗室、階段教室、普通教室でのシステム   | 5 | 4.3.1               | 解析手順                           | 12 |
| 3.1.2 | 普通教室でのアンテナの比較テストでのシステム | 5 | 4.3.2               | 考察                             | 12 |
| 3.1.3 | サーバ構成                  | 5 | 4.4                 | 動画配信実験の結果                      | 13 |
| 3.1.4 | 端末 PC の機種              | 7 | 4.4.1               | 電波暗室での実験                       | 13 |
| 3.2   | 端末配置図                  | 7 | 4.4.2               | 教室での実験                         | 13 |
| 3.2.1 | 電波暗室                   | 7 | 4.4.3               | まとめ                            | 14 |
| 3.2.2 | 階段教室                   | 7 | 5                   | まとめ                            | 14 |
| 3.2.3 | 普通教室                   | 7 |                     | 謝辞                             | 15 |
| 3.3   | 実験方法及び手順               | 7 |                     |                                |    |
| 3.3.1 | 電波暗室（理想環境）             | 7 |                     |                                |    |

# 1 実験目的

無線 LAN(IEEE802.11b)インフラは、昨年から急速に広がってきている。しかしながら、このインフラを活用してサービスを提供しようとする事業者にとって、依然として良く判らないことが少なくない。例をあげると、「一度にどのくらいの数のユーザにサービスを提供できるのか？ 実用的なデータが知りたい」といった質問、「動画ストリーミングサービスで可能なビットレートはどの程度か？」と言うような質問、あるいは、「数十人の学生が入る学校の教室のような環境で教育目的に使えるのか？」などと言った質問も寄せられている。

そうした疑問に少しでも答えるため、モバイルブロードバンド協会(MBA)のハードウェア分科会では、幾つかの代表的な環境を想定して、無線 LAN(IEEE802.11b)の実用的性能を把握するためのフィールド実験を、2002年8月から9月にかけて実施したのでここに報告する。

今回の実験は日本アンテナ株式会社殿のご協力を仰ぎ、同社川里工場（埼玉県北埼玉郡川里町）の電波暗室と、早稲田大学のご協力を仰ぎ、大久保キャンパス（東京都新宿区大久保）大小2教室を借用して行った。具体的には無線アクセスポイント(AP)と最大約40台の端末(PC)間でのスループットの測定と、動画コンテンツを用いたストリーミング配信の測定を中心に行った。

## 2 実験の概要

### 2.1 実験環境

今回の実験では、理想環境として電波暗室、閉鎖環境として大学の教室を選んだ。その理由として、前者については、他の電波の影響や反射の影響のない環境であり、後々の参考値とする事を企図した。後者は実際の利用環境を想定したものである。

### 2.2 実験日時・場所

電波暗室での理想環境と閉鎖環境（大学教室）の2つの環境条件で実験を実施した。

#### 2.2.1 電波暗室（理想環境）

日時： 2002年8月27日（火） 10：00～18:30

場所： 日本アンテナ株式会社 川里工場 電波暗室（図2-1、写真2-1）

参加者数： 17名

## 2.2.2 閉鎖環境（大学教室）

日時： 2002年9月4日（水） 9:30～18:00

場所： 早稲田大学大久保キャンパス 階段教室（57-201教室、定員450名、写真2-2）および普通教室（52-104教室、定員150名、写真2-3）の2カ所

参加者数： 20名

## 2.3 実験項目

電波暗室および閉鎖環境それぞれにおいて、以下の実験を行った。

- 無線アクセスポイントは1チャンネル1台、端末はすべてノートPC。
- tcp<sup>1</sup>によるデータ転送実験： データ長8192バイトと100バイトの2種類<sup>2</sup>で各端末でのスループットの測定を行う。
- 動画配信実験： ビットレートを400Kbps、200Kbps、100Kbpsの3種類に変化させ、画像の再生状況を参加者がモニターする。

### 2.3.1 電波暗室（理想環境）

端末台数を40台、30台、20台、1台と変化させてWEPあり/WEPなし、それぞれの条件で上記2種類の実験を実施した。

### 2.3.2 閉鎖環境

各教室において、端末台数を40台、30台、1台と変化させてWEPなしの条件で上記2種類の実験を実施した。また、普通教室においてはアンテナ種類を変更して端末台数40台、30台、1台の条件でtcpでのパケット受信実験のみを実施した。

## 2.4 端末台数、参加人数等の決定までの過程

無線LANアクセスポイント1台に接続する端末の台数と端末あたりのスループットの相関関係を調べることが今回の実験の目的である。一方、MBAハードウェア分科会会員の数を考慮して、端末の数としては40台くらいが限界であろうとの見解で一致し、端末台数を最大40から減少させた場合のスループットの変化を調査することにした。また、大学教室の閉鎖環境での実験については、現実の環境により近いものにするため、端末1台につき1名の操作者がついた状態で実験を行うという計画を立てた。（実際は2台1名程度の人数で実験を行うこととなった。）

---

<sup>1</sup> tcp 送信側と受信側でTCPを用いた一定量の通信を行い、その間のスループットを計測するソフトウェア。  
<http://www.ccci.com/tools/tcp/> <ftp://ftp.sgi.com/cgi/src/tcp/> <http://jerry.cat.pdx.edu/netlab/products/tcp/>

<sup>2</sup> データ長選定の理由 TCP/IPに於けるデータ長は、長い場合と短い場合で転送状態に違いがあると一般に言われている。そこで、長い場合として8192バイト、短い場合として100バイトとした。

## 3 実験内容

### 3.1 実験システム

#### 3.1.1 電波暗室、階段教室、普通教室でのシステム

図 3-1 に電波暗室、階段教室、普通教室に於けるシステム構成を示す。

無線アクセスポイントはメルコ製をインフラストラクチャーモードで使用した。DHCP サーバはルート製 RGW を、端末に対してアドレスを配るために利用した。

ttcp サーバ上で、各端末との間で ttcp の計測をするためのスクリプトを動作させた。そのスクリプトにより、サーバとそれぞれの端末との間で ttcp を動作させ、データを取得した。

ストリーミングサーバ上には実験用ウェブサイトを用意し、各種ビットレートの動画コンテンツを端末側から選択する事で配信できる様に構成した。

#### 3.1.2 普通教室でのアンテナの比較テストでのシステム

図 3-2 に普通教室でのアンテナの比較テストに於けるシステム構成を示す。

無線アクセスポイントは、ルート製 RGW を利用し、DHCP サーバとしても使用した。

ttcp サーバ上で、各端末との間で ttcp の計測をするためのスクリプトを動作させた。そのスクリプトにより、サーバとそれぞれの端末との間で ttcp を動作させ、データを取得した。

#### 3.1.3 サーバ構成

##### ・ストリーミングサーバ

OS : Windows 2000 Server  
 CPU : Pentium III 500MHz × 2 (DUAL CPU)  
 メモリ : 392MB  
 HDD : 4GB × 2 台  
 NIC : 10/100MB の Ethernet Card × 1 枚  
 ストリーム配信サーバ : Windows Media Server 4.1  
 Web サーバ : Apache/1.3.26(Win32)

##### ・ttcp サーバ

OS : FreeBSD 4.3R  
 CPU : PentiumIII 1GHz  
 メモリ : 256MB

##### ・DHCP サーバ

ルート社製 RGW2400/ID(屋内設置形)

無線部  
 無線機規格 小電力データ通信システム/ワイアレス LAN システム標準規格  
 変調方式 DSSS (スペクトラム拡散方式)  
 周波数 2.4GHz 帯 (2400 ~ 2497MHz)  
 チャンネル 14ch 2412 ~ 2472MHz (5MHzSTEP) 2484MHz  
 空中線電力 10mW/MHz (最大)  
 伝送速度 1・2・5.5・11Mbps  
 ベース変調 PSK 1・2 CCK 5.5・11Mbps

伝送距離 最大 3Km ( 使用環境により異なります )

LAN 部

インターフェイス 10BASE-T ( RJ45 )

通信プロトコル Ethernet/IEEE802.3

ルーティング プロトコル RIPv1、v2

一般

サイズ(突起物含まず) 220mm ( W ) × 209 ( D ) × 50 ( H )

重量 600g

電源 AC アダプタ

消費電力 5W 12VA

使用温度 0 ~ 40

このサーバ上で dhcpd を起動した。

#### ・無線アクセスポイント

メルコ社製 WLA-L11 (メルコ社ウェブサイトより)

[無線 LAN インターフェース部]

規格 ARIB STD-T66/RCR STD-33(小電力データ通信システム規格)

IEEE802.11b(無線 LAN 標準互換プロトコル)準拠

伝送方式 直接拡散型スペクトラム拡散(DS-SS 方式)、単信(半二重)

送信周波数範囲(中心周波数) 2,412 ~ 2,484MHz(1 ~ 14ch)

データ転送速度 1、2、5.5、11Mbps

通信距離 屋内 115m/屋外 550m(見通し)

11Mbps 時 : 屋外 160m(見通し)

屋内 1 : 50m(見通し)

屋内 2 : 25m(見通し)

2Mbps 時 : 屋外 400m(見通し)

屋内 1 : 90m(見通し)

屋内 2 : 40m(見通し)

屋内 1 . . . 障害物の少ない屋内

屋内 2 . . . 障害物の多い屋内

障害物の設置環境により、通信状況が異なる場合があります。

アクセス方式 Infrastructure モード

アンテナ ダイバシティ方式(内蔵)

[有線 LAN インターフェース部]

規格 IEEE802.3(10BASE-T)、IEEE802.3u(100BASE-TX)

データ転送速度 10Mbps/100Mbps

伝送路符号化方式 マンチェスターコーディング、4B5B、MLT-3

コネクタ形状 RJ45 型 8 極コネクタ

[その他]

セキュリティ パスワード、WEP、MAC アドレス登録機能

電源 AC100V

消費電力 6.9W

重量 510g

外形寸法 W205×H170×D76mm

動作環境 温度 0 ~ 40 、湿度 20 ~ 80%(結露なきこと)

ルート社製 RGW2400/ID ( DHCP サーバに使用した物と同一 )

#### ・アンテナテストに用いたアンテナ

無指向性 : ルート社製 コリニアアンテナ SA-00 ( 図 3-3 )

指向性 : ルート社製 パッチアンテナ PA-03 ( 図 3-4 )

### 3.1.4 端末 PC の機種

- ・使用 PC 一覧

表 3-1 に使用した端末 PC を示す。

- ・無線 LAN カード

#### ルート社製 RZ2002

無線機規格 RCR-STD-33 および ARIB STD-66

変調方式 DSSS (スペクトラム拡散方式)

周波数 2.4GHz 帯 (2400 ~ 2497MHz)

チャンネル 14ch 2412 ~ 2472MHz (5MHz STEP) 2484MHz

空中線電力 10mW/MHz (最大)

伝送速度 1・2・5.5・11Mbps (自動/固定)

実行速度 最大 4.5Mbps 使用環境により異なります

ベース変調 PSK 1・2 CCK 5.5・11Mbps

RGW2400 シリーズ

との屋外伝送距離

(パッチアンテナ使用) 11Mbps-150m、5.5Mbps-220m、2Mbps-300m、1Mbps-400m

RGW2400 シリーズ

との屋外伝送距離

(3段コリニア SA-00 使用) 11Mbps-100m、5.5Mbps-150m、2Mbps-210m、1Mbps-280m

表示機能 LED 表示

IEEE 規格 IEEE802.11b

セキュリティ ESS ID、MAC アドレス、WEP

NOS Windows95/98、WindowsNT4.0、WindowsMe、Windows2000

インターフェイス PCMCIA TypeII

## 3.2 端末配置図

### 3.2.1 電波暗室

図 3-5 に電波暗室に於ける端末の配置を示す。(写真 3-1 を併せて参照)

### 3.2.2 階段教室

図 3-6 に階段教室に於ける端末の配置を示す。(写真 3-2 を併せて参照)

### 3.2.3 普通教室

図 3-7 に普通教室に於ける端末の配置を示す。(写真 3-3 を併せて参照)

## 3.3 実験方法及び手順

### 3.3.1 電波暗室 (理想環境)

- ・事前テスト

端末 PC で通信ができるかどうかを実験に先立ちテストする。ping コマンドを無線アクセスポイントへ打ち、応答が来れば準備完了とする。またストリーミングサーバへ接続し、映像が正常に見られ

るかを調べる。

#### ・ tcp によるデータ受信実験

端末 PC にて `ttcp` を受信状態としてサーバから全端末へデータ転送を行い、その通信時間を測定する。生成するデータ長は 8192 バイトと 100 バイトの 2 種類について行う。サーバ上で `ttcp` から表示されるメッセージは全て端末別にログをとる。(写真 3-4、3-5)

手順：

1. 端末の PC に"`ttcp -r -l 8192`"または "`ttcp -r -l 100`"と入力し、受信待ち状態とする。
2. 電波暗室から全員退出する。
3. 開始時刻を記録し、サーバから一斉にデータを送信し、併せてログを取る。
4. 全端末へのデータ転送が終了した時刻を記録する。
5. PC をチェックし、転送が開始されていない端末及び終了していない端末をカウントする。
6. 上記の手順を 3 回繰り返す。

#### ・ 動画配信実験

ストリーミングのビットレートは 400Kbps、200Kbps、100Kbps の 3 種類で実験を行う。1 台の無線アクセスポイントの最大スループットは約 4Mbps 程度であるので、400Kbps であれば 10 台、200Kbps なら 20 台、100Kbps なら 40 台がスループットの制約からくる最大数である。したがって実験時間を短縮するために各端末数で通信可能なビットレートから開始し、画像の状態が悪ければビットレートを下げ、良ければ上げるといった方法で行い、全ビットレートの試験は行わない。

手順：

1. 実験用ウェブサイトから配信実験する動画コンテンツを選択して、ストリーミングサーバへ接続する。
2. メディアプレーヤの受信バッファを安定させるため、3 分程度待つ。
3. 電波暗室内に 2 名のみ残り、ある時点での映像をチェックする。スムーズに動画が再生されているものと、コマ落ち状態になっている端末数を数える。

#### ・ WEP について

WEP を使用すると転送速度が低下する場合がありますので、使用した場合としない場合の両方で測定を行う。

#### ・ 進行状況

| 試行順 | 試験内容    | 台数 | WEP | 条件      |
|-----|---------|----|-----|---------|
| 1   | TTCP    | 40 | ON  | L=8192  |
| 2   | TTCP    | 40 | ON  | L=100   |
| 3   | ストリーミング | 40 | ON  | 100Kbps |
| 4   | ストリーミング | 40 | ON  | 200Kbps |



|    |         |    |     |         |
|----|---------|----|-----|---------|
| 5  | TTCP    | 40 | OFF | L=8192  |
| 6  | TTCP    | 40 | OFF | L=100   |
| 7  | TTCP    | 30 | OFF | L=8192  |
| 8  | TTCP    | 30 | OFF | L=100   |
| 9  | TTCP    | 30 | ON  | L=8192  |
| 10 | TTCP    | 30 | ON  | L=100   |
| 11 | TTCP    | 20 | ON  | L=8192  |
| 12 | TTCP    | 20 | ON  | L=100   |
| 13 | ストリーミング | 20 | ON  | 200Kbps |
| 14 | ストリーミング | 20 | ON  | 400Kbps |
| 15 | TTCP    | 20 | OFF | L=8192  |
| 16 | TTCP    | 20 | OFF | L=100   |
| 17 | TTCP    | 1  | OFF | L=8192  |
| 18 | TTCP    |    | OFF | L=100   |

### 3.3.2 階段教室（閉鎖環境 1）

手順については電波暗室と基本的に同様であるが、着席したまま一人で 2 台の端末を操作する。WEP については電波暗室での測定でそれほど転送速度に差が見られなかったため、今回はすべて OFF で行う。

#### ・進行状況

| 試行順 | 試験内容    | 台数 | WEP | 条件                         |
|-----|---------|----|-----|----------------------------|
| 1   | TTCP    | 38 | OFF | L=8192                     |
| 2   | TTCP    | 38 | OFF | L=100                      |
| 3   | ストリーミング | 39 | OFF | 400Kbps 全てコマ落ち状態のため 1 回で終了 |
| 4   | ストリーミング | 39 | OFF | 200Kbps                    |
| 5   | ストリーミング | 39 | OFF | 100Kbps 全て良好のため 1 回で終了     |
| 6   | TTCP    | 30 | OFF | L=8192                     |
| 7   | TTCP    | 30 | OFF | L=100                      |
| 8   | ストリーミング | 30 | OFF | 400Kbps                    |
| 9   | ストリーミング | 30 | OFF | 200Kbps                    |
| 10  | TTCP    | 1  | OFF | L=8192                     |
| 11  | TTCP    | 1  | OFF | L=100                      |

### 3.3.3 普通教室（閉鎖環境 2）

手順については閉鎖環境 1 と同様である。WEP については電波暗室での測定でそれほど転送速度に差が見られなかったために今回はすべて OFF で行う。

## ・進行状況

| 試行順 | 試験内容    | 台数 | WEP | 条件           |
|-----|---------|----|-----|--------------|
| 1   | TTCP    | 38 | OFF | L=8192       |
| 2   | TTCP    | 38 | OFF | L=100        |
| 3   | ストリーミング | 39 | OFF | 200Kbps      |
| 4   | ストリーミング | 39 | OFF | 100Kbps 1回のみ |
| 5   | TTCP    | 30 | OFF | L=8192       |
| 6   | TTCP    | 30 | OFF | L=100        |
| 7   | ストリーミング | 30 | OFF | 400Kbps      |
| 8   | ストリーミング | 30 | OFF | 400Kbps      |
| 9   | ストリーミング | 30 | OFF | 100Kbps 1回のみ |
| 10  | TTCP    | 1  | OFF | L=8192 No.19 |
| 11  | TTCP    | 1  | OFF | L=100 No.19  |
| 12  | TTCP    | 1  | OFF | L=8192 No.18 |
| 13  | TTCP    | 1  | OFF | L=100 No.18  |

## 3.3.4 普通教室（アンテナテスト）

無線アクセスポイントのアンテナの特性によって狭い教室での通信状況に変化があるかどうかを調べる。

無線アクセスポイントをルート社製の RGW2400/ID に変更し、コリニアアンテナ（無指向性）とパッチアンテナ（指向性）の2種類について同様の実験を行う。

実験の内容は ttcp のみとし、先の閉鎖環境2と比較を行う。

## ・進行状況

| 試行順 | 試験内容 | 台数 | WEP | 条件              |
|-----|------|----|-----|-----------------|
| 1   | TTCP | 38 | OFF | L=8192 コリニアアンテナ |
| 2   | TTCP | 38 | OFF | L=8192 パッチアンテナ  |
| 3   | TTCP | 1  | OFF | L=8192 パッチアンテナ  |
| 4   | TTCP | 1  | OFF | L=8192 コリニアアンテナ |

## 4 実験結果

### 4.1 転送レート

表 4-1 に計測結果を示す。また、各端末毎の転送レートを図 4-1～図 4-11 にグラフ化して示す。各

グラフ右端凡例欄の番号は端末番号を示す。横軸の#は同一条件での実験試行回数を示す。なお、端末毎の値を把握し易くするため、折れ線グラフを用いた。

#### 4.1.1 電波暗室における転送レート

図 4-1、図 4-2 に電波暗室における転送レートを示す。これらのグラフは端末台数（40 台、30 台、20 台）と、WEP の「あり」、「なし」による、各端末毎の転送レートを示している。なお、図 4-1 はデータ長 8192 バイト、図 4-2 はデータ長 100 バイトでの実験結果である。

これらのグラフから、端末台数が減るにつれ、データ転送速度が速くなり、かつ、各端末毎転送レートのばらつきが大きくなることがわかる。また、データサイズが 8192 バイトより、100 バイトの場合のほうが端末毎のばらつきが大きくなることもわかる。これは、ショートパケットが多くなることと関係していると考えられる。なお、WEP の「あり」が「なし」に対し、若干転送速度が遅いことも読み取れる。

#### 4.1.2 同一端末台数における実験環境の違いと端末毎の転送レート

図 4-3、図 4-4、図 4-5、図 4-6 に環境の違いにおける同一端末台数（40 台、30 台）毎の転送レートのグラフを示す。図 4-3、図 4-4 はデータ長 8192 バイト、図 4-5、図 4-6 はデータ長 100 バイトである。なお、WEP は「なし」に統一してある。

これらのグラフから、端末台数が同一の場合、電波暗室、階段教室、普通教室による大きな違いは特にないと考えられる。

## 4.2 転送レート対端末台数ヒストグラム

実験で測定した各端末毎の転送レートから作成した、転送レート対端末台数のヒストグラムを図 4-7～図 4-11 に示す。

なお、グラフを見やすくするため 3 次元棒グラフを用いて示した。

#### 4.2.1 電波暗室における転送レート対端末台数ヒストグラム

図 4-7、図 4-8 にそれぞれデータ長 8192 バイト、データ長 100 バイトの電波暗室における転送レート対端末台数のヒストグラムを示す。

転送レートの分布において、下記の 3 つの特徴が看取された。。

- 転送レートの大きいグループと小さいグループに分かれる傾向が一部見られる。
- 端末台数の少ない実験ほど、転送レートの分布が広がる。
- 正規分布に近い傾向は見られるが、総てがそうではない。

#### 4.2.2 教室における転送レート対端末台数ヒストグラム

図 4-9、図 4-10 にそれぞれデータ長 8192 バイト、データ長 100 バイトの教室における転送レート対端末台数のヒストグラムを示す。

転送レートの分布から、下記の特徴が看取された。

- 転送レートの大きいグループと小さいグループに分かれる傾向が一部見られる。

- 端末台数の少ない実験ほど、転送レートの分布が広がる。
- 正規分布に近い傾向は見られるが、総てがそうではない。

なお、階段教室、普通教室による違いは特に見られなかった。

#### 4.2.3 アンテナの種類を変えた場合の転送レート対端末台数ヒストグラム

図 4-11 にパッチアンテナとコリニアアンテナにおける、転送レート対端末台数のヒストグラムを示す。データ長は 8192 バイト、環境は普通教室である。

転送レートの分布から、下記の特徴が看取された。

- 転送レートの大きいグループと小さいグループに分かれる傾向が見られる。
- 転送レートの分布が、同一条件のメルコ製無線アクセスポイントの場合に比較して広がっている。(図 4-9 教室における転送レート対端末台数ヒストグラム データ長 8192Byte 参照)
- 正規分布に近い傾向は見られる。
- アンテナの違いによる差は特に認められない。

### 4.3 端末毎の速度の偏差値

#### 4.3.1 解析手順

tcp の実験結果(表 4-1、図 4-1 ~ 11)から、測定した端末によって転送速度のばらつきが見られた。このばらつきの原因を調査するために偏差値を利用した解析を行った。偏差値を用いた理由は、実験に使用した端末の数等による転送速度の絶対値の違いを相対的に表すことによって吸収するためである。

解析は以下の手順で行った。

1. 環境がまったく同じ測定データで端末毎の平均を求め、その環境での端末のスループット測定結果とした。
2. 各測定環境毎にスループットの平均と標準偏差を求めそれから偏差値を求めた。
3. それぞれの場所毎に端末における偏差値の最高・最低・平均を求め、X 軸に端末番号、Y 軸に偏差値をとったグラフに表した。

図 4-12 に日本アンテナの電波暗室のグラフを示す。

図 4-13 に早稲田大学の階段教室のグラフを示す。

図 4-14 に早稲田大学の普通教室のグラフを示す。

図 4-15 に早稲田大学の普通教室で行ったアンテナを変えた場合の平均値のグラフを示す。無線アクセスポイント(メルコ製 AirStation)は早稲田大学普通教室の平均と同じである。

図 4-16 に日本アンテナの電波暗室、早稲田大学の階段教室、同じく早稲田大学の普通教室、アンテナテストそれぞれの平均を同じグラフにプロットしたものを示す。

#### 4.3.2 考察

「図 4-12 日本アンテナ電波暗室」、「図 4-13 早稲田大学階段教室」、「図 4-14 早稲田大学普通教室」を見るとグラフの形がほぼ同じになっている。このことからスループットの差は端末固有の問

題であり場所等の環境要因でないことがわかる。このことは「図 4-16 平均値」からも明らかである。

早稲田大学の普通教室で行ったアンテナを変えてのテストでも、「図 4-15 アンテナテスト」を見てわかるように、端末固有のスループット特性がそのまま現れていて、アンテナの違いによる差はほとんど見られない。このことから、早稲田大学の普通教室程度の大きさの閉鎖空間では、今回使用したアンテナの特性では場所による影響はほとんど無いといえる。

## 4.4 動画配信実験の結果

40 台、30 台、20 台にそれぞれ 400Kbps, 200Kbps, 100Kbps, 50Kbps の動画配信を行った。時間短縮のため動画配信はビットレートの高い方を先に行い、状態が良好であればそれより低いビットレートの実験は行わないこととした。

### 4.4.1 電波暗室での実験

電波暗室では WEP ありと WEP なしについて実験を行った。

- 40 台への同時配信
  - 400Kbps... 受信した端末全てが静止画状態となる。  
良好な場合でも静止画が数コマ変化するのみ。
  - 200Kbps... 40 台中 14 台で滑らかな動画が表示された。他はコマ落ち状態となった。
  - 100Kbps... 全ての端末で滑らかな動画が表示された。
- 30 台への同時配信
  - 400Kbps... 全ての端末がコマ落ち状態となった。
  - 200Kbps... 30 台中 20 台で滑らかな動画が表示された。
- 20 台への同時配信
  - 400Kbps... 全ての端末で滑らかな動画が表示された（200Kbps 以下は行わないこととした）。

なお、WEP の有無による差は見られなかった。

### 4.4.2 教室での実験

電波暗室での実験結果を鑑み、教室では WEP なしのみとした。また、40 台、30 台で実験を行った。原則として 1 分間隔で 3 回観測した。

#### 階段教室

- 40 台への同時配信（1 台は端末不良のため急遽 39 台にて行った）
  - 200Kbps ... 1 回目は 13 台、2 回目は 14 台、3 回目は 19 台で滑らかな動画が表示された。  
残りはコマ落ち状態。
  - 100Kbps ... 全ての端末で滑らかな動画が表示された。
- 30 台への同時配信
  - 400Kbps ... 1 回目は 2 台、2 回目は 0 台、3 回目は 4 台で滑らかな動画が表示された。残りは静止画の状態。

200Kbps ... 1 回目は 28 台、2 回目は 30 台、3 回目は 29 台で滑らかな動画が表示された。

#### 普通教室

- 40 台への同時配信（1 台は端末不良のため急遽 39 台にて行った）  
200Kbps ... 1 回目は 6 台、2 回目は 1 台、3 回目は 5 台で滑らかな動画が表示された。残りはコマ落ち状態。  
100Kbps ... 1 台を除き、全ての端末で滑らかな動画が表示された。
- 30 台への同時配信  
400Kbps ... 1 回目は 0 台、2 回目は 3 台、3 回目は 1 台で滑らかな動画が表示された。残りは静止画の状態。  
200Kbps ... 1 回目は 9 台、2 回目は 27 台、3 回目は 25 台で滑らかな動画が表示された。残りは静止画の状態。  
100Kbps ... 1 台端末不良のため 29 台にて行ったが、全ての端末で滑らかな動画が表示された。

#### 4.4.3 まとめ

動画配信は階段教室の方が若干状態が良い様に感じられる。IEEE802.11b の実効速度は 5 ~ 6Mbps と言われており、それに合致する結果といえよう。

## 5 まとめ

モバイルブロードバンド協会ハードウェア分科会において行った無線 LAN 実験の目的は、実際に近い環境下での実用性能データを把握することであった。

実験では、tcp によるデータ転送性能とストリーミング動画配信の性能を測定した。その結果、電波暗室と閉鎖環境との性能差異はほとんどないこと、端末の配置場所による性能差異も認められないこと、受信再生可能な動画コンテンツのビットレートは台数の増加に対して単純に低下することが明らかになった。また、アンテナの指向性があるものとなないものとの比較においても性能差異が無いことが明らかになった。

以下に代表的な数値を示す。

端末 40 台の場合（無線アクセスポイント 1 台 / 1 チャンネル）

tcp による転送速度（ショートパケット） 15KByte/sec ~ 28KByte/sec

tcp による転送速度（ロングパケット） 16KByte/sec ~ 24KByte/sec

受信再生可能な動画コンテンツのビットレート 100Kbps（画像サイズ 236 × 112 ドット）

端末 30 台の場合（無線アクセスポイント 1 台 / 1 チャンネル）

ttcp による転送速度（ショートパケット） 20KByte/sec ~ 32KByte/sec  
ttcp による転送速度（ロングパケット） 20KByte/sec ~ 29KByte/sec  
受信再生可能な動画コンテンツのビットレート 200Kbps（画像サイズ 356 × 168 ドット）

早稲田大学における階段教室、普通教室のような規模の閉鎖環境では、反射が受信性能に作用しているものと推測され、教室規模の影響はあまりないといえよう。1 台の無線アクセスポイントに於ける各端末のデータ転送実効速度は平均すると 18KByte/sec ~ 26KByte/sec である。また、実効速度は全端末を合計すると 5M ~ 6Mbps 程度である。そして、個々の端末の実効速度が台数の増加に応じて低下することから、単純に帯域が分割されるものと推測される。ただし、教室等における閉鎖環境で無線 LAN サービスを実施する際に端末側の処理能力に依存する性能のばらつきがあることを注意する必要がある。

今回の実験結果から、1 台の無線アクセスポイント 1 チャンネルにて通信を行う場合の実効速度を確認できた。閉鎖環境（大学の教室等）における一般的なサービス（ファイル転送、Web 閲覧、ストリーミング配信、VoIP、チャット等）を実施する場合の参考値として活用されれば幸いである。

今回の結果から高品位の動画コンテンツ配信を 1 台の無線アクセスポイントにて実現することは難しいと確認できた。このような高品位サービスの実現が可能かどうかを判断するために、無線アクセスポイントの設置台数、設置場所、チャンネルの有効利用などを実証実験により解明する必要がある。

また、今回の実験にて使用した端末は全てノート PC であったが、今後 PC 以外の端末も無線化が予想される。そのような新端末を用いた実証実験も必要となろう。教室に限らず、様々なサービス環境を想定した実証実験も必要と思われる。さらに、街頭環境や、自動車等の高速移動を伴う環境における性能実験も必要であろう。

今後は、モバイルブロードバンド協会のみならず、より多くの無線 LAN に取り組む企業、研究団体などと連携し、幅広い見地からさらにモバイルブロードバンド事業の可能性を追求していく必要があるだろう。

## 謝辞

今回の実証実験においては、実験場所を提供していただいた日本アンテナ株式会社様（電波暗室における測定）、早稲田大学様（階段教室、普通教室における測定）に感謝いたします。また、実験準備や測定のお手伝いをいただいた、日本アンテナ株式会社の皆様、早稲田大学学生の皆様、そして、各種サーバ、PC カード等の提供をいただいたモバイルインターネットサービス株式会社様、松下電器産業株式会社”Panasonic hi-ho”様、ルート株式会社様の皆様に謝意を表します。

最後に、ストリーミング実験用コンテンツが Universal Studios Inc.様からご提供されたことをご紹介するとともに、ご協力に感謝の意を表します。

MBA ハードウェア分科会は今後もよりよいモバイルサービスの実現に向けて活動を進めていく所存でございます。皆様のご理解と、引き続いてのご協力をお願い申し上げます。

## モバイルブロードバンド協会ハードウェア分科会会員一覧

この実験プロジェクトは、協会の規則に従い、下記分科会会員の議決により実施を決定し、その負担によって推進しました。

### 正会員

|                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| ANY ONE WIRELESS, CO., LTD | 電気興業株式会社            |
| DX アンテナ株式会社                | 東光株式会社              |
| TDK 株式会社                   | トランスメタ・コーポレーション     |
| アイ・ティー・エックス株式会社            | 日商エレクトロニクス株式会社      |
| 沖電気工業株式会社                  | 日本電気システム建設株式会社      |
| カシオ計算機株式会社                 | 日本アンテナ株式会社          |
| 京セラ株式会社                    | 日本通信株式会社            |
| 三洋電機株式会社                   | バイオニア株式会社           |
| 株式会社 シネックス                 | 株式会社 日立製作所          |
| 清水国際股分有限公司                 | マスプロ電工株式会社          |
| シャープ株式会社                   | 松下電器産業株式会社          |
| 株式会社 ジンオフィスサービス            | モバイルインターネットサービス株式会社 |
| 住友電設株式会社                   | ルート株式会社             |

### 賛助会員

|                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 株式会社 新社会システム総合研究所 | 日本サステイナブル・コミュニティ・センター |
|-------------------|-----------------------|

### 個人会員

|      |      |      |
|------|------|------|
| 穴水弘光 | 菅野伸一 | 辰巳浩之 |
| 岡部寿男 | 後藤滋樹 | 福原一朗 |
| 河口信夫 | 高津敏  |      |



## 無線 LAN の実験

### 理想環境と閉鎖環境に於ける性能評価

この報告書はモバイルブロードバンド協会より無償で配布致します。

モバイルブロードバンド協会はこの報告書の著作権を保有します。

2002 年 12 月

モバイルブロードバンド協会

東京都文京区西片 1-17-8 KS ビル 2F

[www.mbassoc.org](http://www.mbassoc.org)

### 実験参加者（共同執筆者）一覧

若林 則章（分科会長・理事代行 / 松下電器産業株式会社）

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| 相原 岳浩（カシオ計算機株式会社）         | 辻 直樹（日本電気システム建設株式会社）       |
| 荒川 克憲（バイオニア株式会社）          | 鶴田 亮（ルート株式会社）              |
| 池田 巧（松下電器産業株式会社）          | 中田 和弘（京セラ株式会社）             |
| 今井 繁雄（日本アンテナ株式会社）         | 英 敏夫（カシオ計算機株式会社）           |
| 岡野 秀生（アイ・ティー・エックス株式会社）    | 藤本 光男（三洋電機株式会社）            |
| 奥村 滋（モバイルインターネットサービス株式会社） | 米田 聖史（バイオニア株式会社）           |
| 小畑 徹（京セラ株式会社）             | 松下 文雄（バイオニア株式会社）           |
| 片山 典彦（日本アンテナ株式会社）         | 宮野 夕樹（日本アンテナ株式会社）          |
| 後藤 滋樹（理事長 / 早稲田大学理工学部 教授） | 向窪 文（モバイルインターネットサービス株式会社）  |
| 小林 稔幸（早稲田大学大学院理工学研究科）     | 山田 敏央（ルート株式会社）             |
| 塩田 岳彦（バイオニア株式会社）          | 横山 博文（モバイルインターネットサービス株式会社） |

内村 雅生（モバイルブロードバンド協会）