

# 大規模無線 LAN のトラフィック測定について

教養教育 田中清人

---

抄録：大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスでは IEEE802.11b を使用した大規模無線 LAN システムを構築して運用している。今回、本無線 LAN システムのトラフィックを測定し解析を行ったので報告する。

キーワード：無線 LAN, IEEE802.11b, トラフィック

## 1. はじめに

ユビキタス社会の実現を目指し、ブロードバンドによるネットワーク接続アクセスラインの整備が進められている。接続アクセスラインとしては、電話回線を使用した ADSL や光ファイバーによる FTTH などの有線接続方式が先行しているが、屋内のネットワーク接続方式としてはポータビリティの観点から 11Mbps の通信速度である IEEE802.11b<sup>[1]</sup> を使用した無線 LAN や、より高速な 54Mbps の通信速度を使用した無線 LAN (IEEE802.11a や IEEE802.11g) が浸透しつつある<sup>[2]</sup>。無線 LAN は街中においてもインターネット接続の有力手段として、ホットスポットという名称で空港や駅、その他外食産業のレストランなどで整備されつつあるため、今後は無線 LAN がネットワーク接続アクセスラインとして広く普及することが考えられる。

大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスにおいても、学生のネットワーク接続アクセスラインとして IEEE802.11b を使用した大規模無線 LAN システムを構築し、教育や研究に使用している。このような状況においては、無線 LAN 設備の効率的な整備のために、ネットワークトラフィックの測定と解析が重要である。今回、大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスの大規模無線 LAN システムについて

トラフィック測定を行い、解析を行ったので報告する。

## 2. 大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスのネットワーク構成

### 2.1. 関屋キャンパスの概要

大阪樟蔭女子大学は東大阪市に位置し学芸学部他より構成される小阪キャンパスと、奈良県香芝市に位置し、人間科学部と短期大学部より構成される関屋キャンパスより構成されている。関屋キャンパスの学生数は約 1,600 名、教職員は約 100 名である。関屋キャンパスは、前身の樟蔭女子短期大学を 2001 年 4 月に改組し、心理学科、児童学科、人間社会学科 3 学科を有する人間科学部と、人間関係科 1 学科の短期大学部で構成されている。関屋キャンパスは 2001 年 4 月に改組され 2004 年度が完成年度にあたるため、ネットワーク稼働がこれまでの最大となってきている。従って、現状ネットワーク設備の妥当性や今後の設備計画のために、トラフィック測定ならびにその解析が必要となってきている。

### 2.2. ネットワーク運用の形態と特徴

関屋キャンパスでは近年のネットワーク社会の進展に対応し、2001 年 4 月の人間科学部開設以来、新入学生全員に無線 LAN を具備したノート

PCの携帯を義務付け、一部特殊なソフトウェアを必要とする講義や実習を除いて、無線LANを使用した授業を実施可能としている。さらには、講義室や実習室以外にも無線LANアクセスポイントを設置し、学生がキャンパス内で自由にネットワークにアクセス可能な環境を実現している。

## 2.3. ネットワーク構成

### 2.3.1. ハードウェア構成

関屋キャンパスネットワークは、前身の樟蔭女子短期大学時代に整備されたATMを中心とするネットワークを、2001年4月の人間科学部開設にあわせてギガビットイーサネットをバックボーンとするネットワークに整備した。

大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスネットワーク構成の概略を図1に示す。本キャンパスネットワークでは米国Extreme Networks社のSummit4

ギガビットイーサネットスイッチを中心に、学内バックボーンとしてギガビットイーサを運用しており、レイヤ3スイッチの下に各建物、各階へのスイッチならびに各サーバを接続している。教員の研究室や講義室へは有線LANを配置しており、さらに無線LANアクセスポイントを実習室や図書館、学生サロン（学生の休憩場所）、食堂に配置している。無線LANのアクセスポイントは約100ヶ所である。学外とはFirewallを介してOCNによりインターネットと接続している。サーバとしてはDHCP、DNS、プロキシ、メール、WWW、ファイルサーバ等10数台があり、学内の各種サービスを提供している。

クライアントは学生用ノートPCが約1,700台、実習室クライアントが約120台、教員用クライアントが約120台であり、教員用の一部のクライアントを除いてWindowsマシンで構成している。

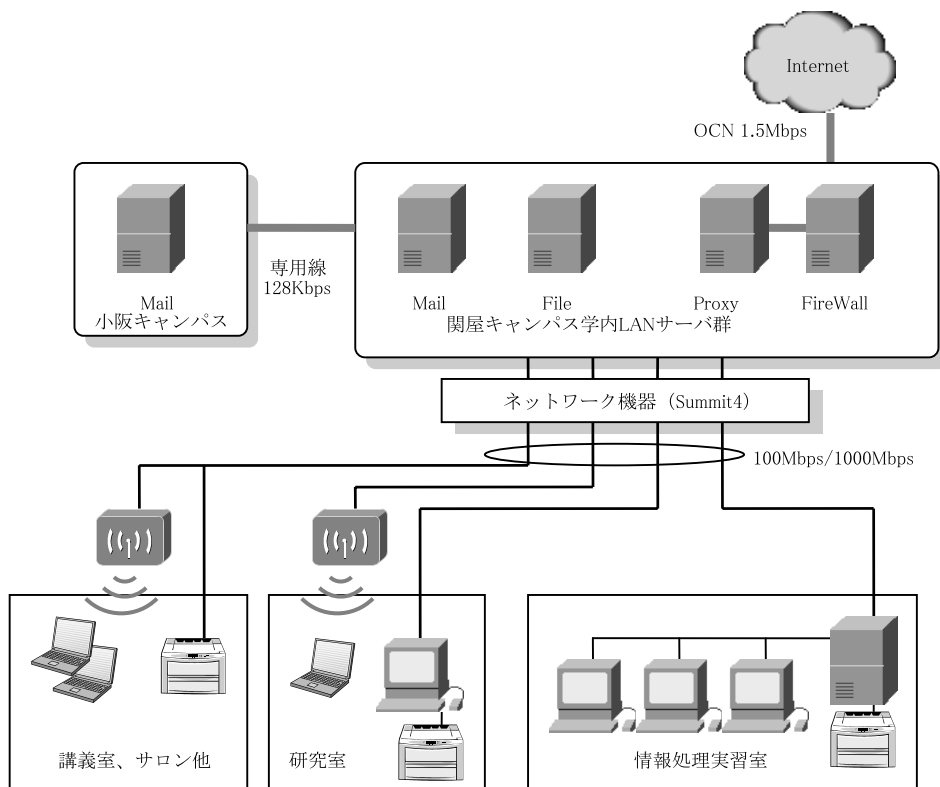


図1 関屋キャンパスのネットワーク構成（2004年度）

学生用ノート PC は互換性や運用の容易化のため、大学生協の協力のもと入学時にノート PC の斡旋を行い、極力ノート PC の機種統一を図っている。無線 LAN アクセス手段はアクセスポイントとして 2001～2003 年度中までは NTT エレクトロニクス社の SS マジックを、2003 年度中～現在までメルコ社のものを約 100 台運用している。クライアント側としては、2001～2002 年度入学学生用ノート PC では PCMCIA カードタイプの NTT エレクトロニクス社の SS マジックを、2003 年度はアライドテレシス社の無線 LAN カードを使用している。2004 年度入学学生からは、無線 LAN 機能内蔵のノート PC を使用している。

### 2.3.2. ソフトウェア

サーバは WindowsNT4.0 と Windows2000 で運用している。クライアントは、Windows2000 Professional と Windows XP Professional を主に運用している（教員用クライアントの一部で MacOS X を使用している）。学生用のノート PC では、入学年度により Windows2000 Professional（2001～2002 年度入学学生用ノート PC）と Windows XP Professional（2003～2004 年度入学学生用ノート PC）を使い分けている。

## 2.4. 運用

本キャンパスネットワークは約 100ヶ所もの無線 LAN アクセスポイントを運用するため、2001 年度運用開始直後は無線 LAN について数々のトラブルが発生した。主なものは以下のとおりである。

- (1) 無線 LAN アクセスが不安定である
- (2) ログイン処理に長時間を有する

(1) は、各講義室の無線 LAN アクセスポイントを運用管理の容易化のため、各無線 LAN アクセスポイントをグループ化し、サブネットワークとして分割していたことが原因である。講義室は近接しているため、あるサブネットワークに属する講義室の多数のクライアントが、近くの別サブネットワークに属する講義室のアクセスポイントに接

続する場合が発生する。この場合、接続されたアクセスポイントの属するサブネットワークにおいては、本来の接続されているクライアント以外に多数のクライアントに IP アドレスを割り当てる必要が出てくるため、場合によっては DHCP による IP アドレス払い出しが枯渇する。また、他講義室からの接続を避けるため電波強度を弱くすると、少しはなれたクライアントの接続ができなくなるという問題も生じた。本問題については、無線 LAN 全体をひとつのサブネットワークとして運用することで解決した。

(2) は、アクティブディレクトリを使用して運用していたことが原因である。本キャンパスでは、ネットワークアクセス時学生は各自のノート PC を使用することを主としているが、実習室のパソコンも使用可能としている。このようなケースでは、パソコンの使い勝手向上のため、パソコンの使用環境を統一することが望ましい。本学ではこれに対処するため、ネットワークログイン時に、各個人のプロファイルサーバより使用パソコンに転送する、アクティブディレクトリ方式を採用した。このような運用形式では、プロファイルに大量のデータが保存されている場合（たとえば、マイドキュメントフォルダに大量の画像データが保存されているときなど）、ネットワークログイン時大量のデータ転送が発生し、ネットワークトラフィックの輻輳を招く。本問題については、多少の使い勝手の低下を招くが、学生のネットワークログイン単位をワークグループとすることで、ネットワークログイン時に各自のプロファイルデータを転送されないようすることで解決した。

2002, 2003 年度では無線 LAN 環境は安定していたが、2004 年度より採用したノート PC の内蔵無線使用により、

- (3) 通信途中にセッションが切断される

という問題が発生した。これは、Windows XP 内蔵の無線 LAN ドライバの不具合であり、ドライバをバージョンアップすることで解決した。

### 3. トラフィック測定

学内ネットワークは有線 LAN 部分と無線 LAN 部分より構成されている。各種サーバが接続された有線 LAN 部分は主に教職員が使用し、無線 LAN 部分は主に学生が使用している。有線 LAN 部分についてはトラフィックが集中するセンタースイッチ（Summit4）における各種トラフィック、無線 LAN アクセス端末と各種サーバ間のレスポンス状況を中心に測定を実施し、無線 LAN の部分については、電波到達状況、アクセスポイントにおけるアソシエイト状態を中心に測定を行った。無線 LAN アクセスのトラフィック測定では、

本学におけるパソコンを使用した実習「情報処理基礎実習」の開講形態、すなわち学科ごとに3～5クラス同時開講するという特徴より、無線 LAN アクセスが短時間に集中するということが予想されるため、当該時間に無線 LAN アクセスの測定を実施した。

#### 3.1. 有線 LAN

##### 3.1.1. 測定概要

測定概要を以下に示す。

##### 1. 測定項目

##### (1) トラフィック外部測定

センタースイッチ（Summit4）における

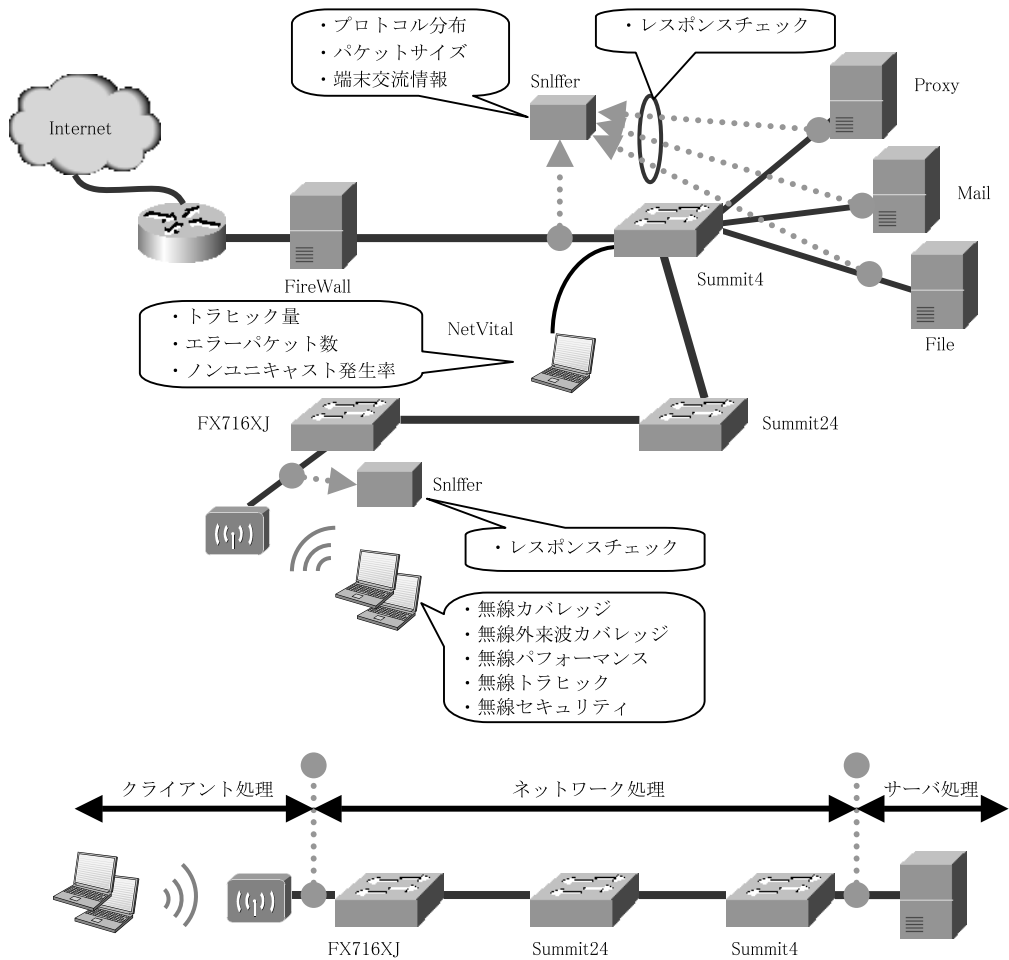


図2 測定ポイントと測定項目

トラフィック量, 回線使用率, NonUnicast 発生率

(2) トラフィック内部測定

センタースイッチ (Summit4)~Firewall におけるプロトコル分布, パケットサイズ

(3) アプリケーションレスポンス測定

無線LAN アクセス端末~各サーバ(Proxy, Mail, File) に関するレスポンス

2. 測定日程

平成 16 年 11 月 5 日~15 日

3. 測定機器

(4) SnifferPro 4.5

(5) NetVital 1.1

(6) OPNET ACE

4. 測定ポイント

図 2 に示す。

3.1.2. 測定結果

1. トラフィック外部測定

(1) トラフィック量

センタースイッチの各ポートに入出力するトラフィック量の曜日変動を測定した。測定結果を図 3 に示す。土, 日を除く平日は全て同様なトラフィック傾向である。平日において最大値を記録しているのは, ポートに流入するものは File サーバからのもので, 流出するものは DHCP サーバからのものである。

(2) 回線使用率

センタースイッチの回線使用率について, トラフィック量の最大値を記録していた File サーバの測定結果を図 4 に示す。回線使用率の最大値は約 12%であり, 回線使用率の閾値である 60%を大きく下回っている。また, エラー発生率も極めて小さい。

(3) NonUnicast 率

センタースイッチにおける特定の相手にはデータを送信するのではない NonUnicast, すなわちブロードキャストやマルチキャストの発生率について, 上記回線使用率で示した File サーバの時間推移を図 5 に示す。図 4 と合わせてみても明らかにように, データなどのトラフィックが流れている時はブロードキャストやマルチキャストの発生率は低下し, それ以外ではブロードキャストやマルチキャストの発生率が上昇している。これは正常なトラフィック状態である。

2. トラフィック内部測定

センタースイッチである Summit4~FireWall 間のトラフィックについて, パケットサイズ分布, 端末交流, プロトコル分布を測定した。

(1) パケットサイズ分布

測定結果を図 6 に示す。64KB の小さ

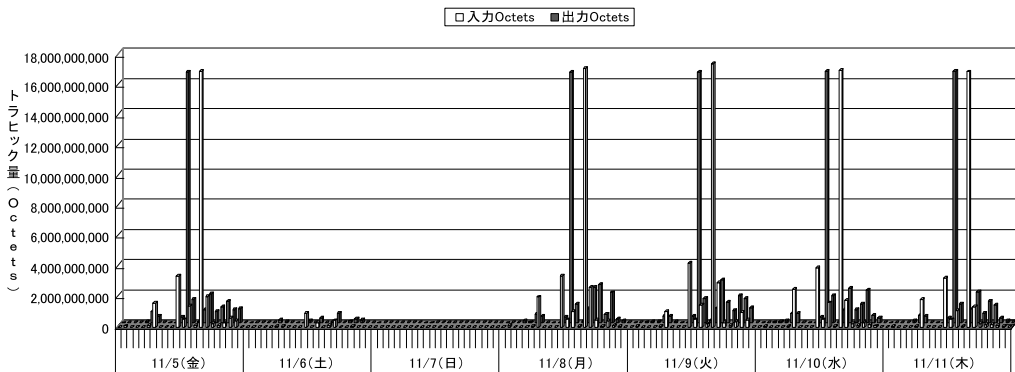


図 3 トラフィック量

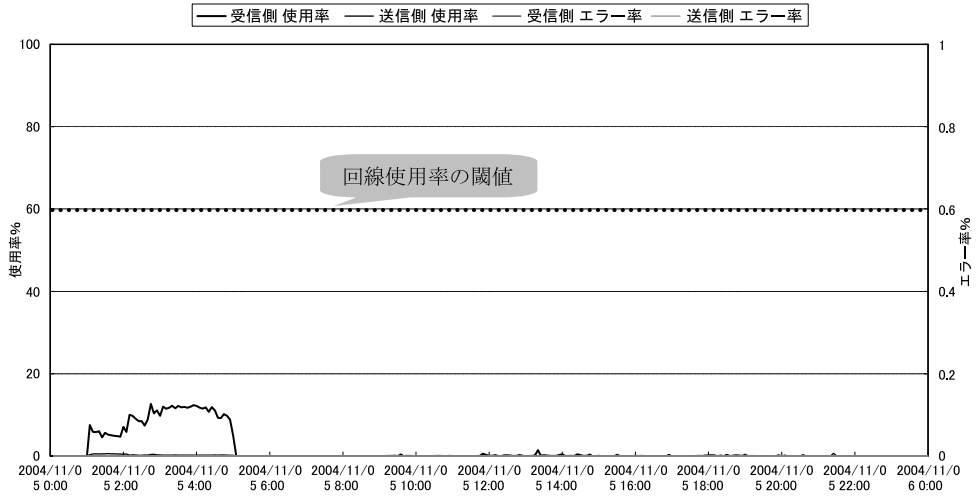


図4 回線使用率

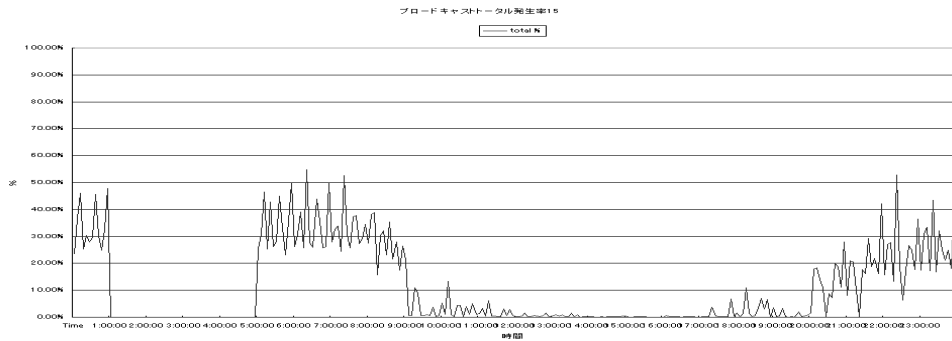


図5 ブロードキャスト発生率の時間推移

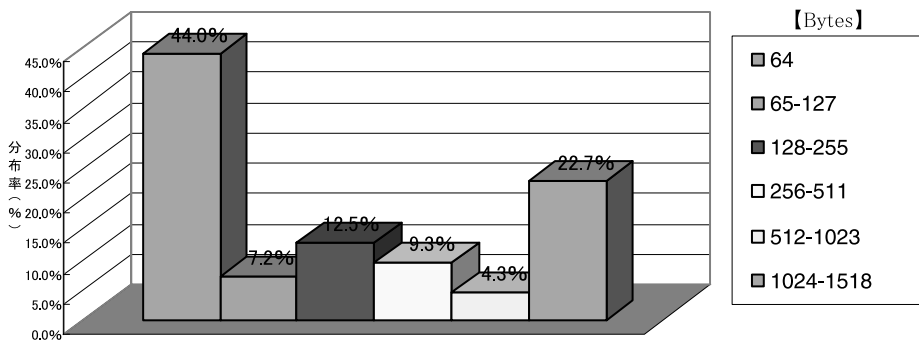


図6 パケットサイズ分布 (Summit4~Firewall)

なパケットが44%を占めている。次に1024~1518KBの大きなパケットが23%を占めており、それ以外は中間サイズのパケットが平均的に占めている。大きな

パケットも流れており、利用効率の悪いネットワークではない。測定対象はインターネット間であるため、名前解決などの小さなパケットが多いと考えられる。

(2) 端末交流

端末間のトラフィックについて、多い順に上位 10 を図 7 に示す。内部サーバと考えられる 10.199.1.3 から 10.200.1.4 (DNS・Proxy) へのトラフィックが最も多い。それ以外は、インターネットにあるサーバと DNS・Proxy サーバとの通信が占めている。

(3) プロトコル分布

センタースイッチ～FireWall 間のトラフィックのプロトコル分布を図 8 に示す。HTTP が大半を占めており、インターネットとの Web 通信が多く流れている。それに比べてメール通信である SMTP や名前解決の DNS の割合は少ない。インターネットへの出入り口であるセンター

スイッチ～FireWall 間において NetBIOS 通信が少量あるのは、同じセグメントにある Windows サーバとのブロードキャスト通信と考えられる。

3. アプリケーションレスポンス測定

有線 LAN アプリケーションレスポンス診断では、無線クライアント端末～サーバ間 (PROXY サーバ, Mail サーバ, File サーバ) のパケットフローを参照し、応答処理時間からのボトルネック部分を調査した。

本測定では図 2 に示すように、センタースイッチである Summit4～対象サーバ間、無線 AP が収容されているスイッチ～対象無線 AP 間に測定器を設置し測定対象とした。

(1) レスポンス測定 (クライアント～PROXY サーバ)

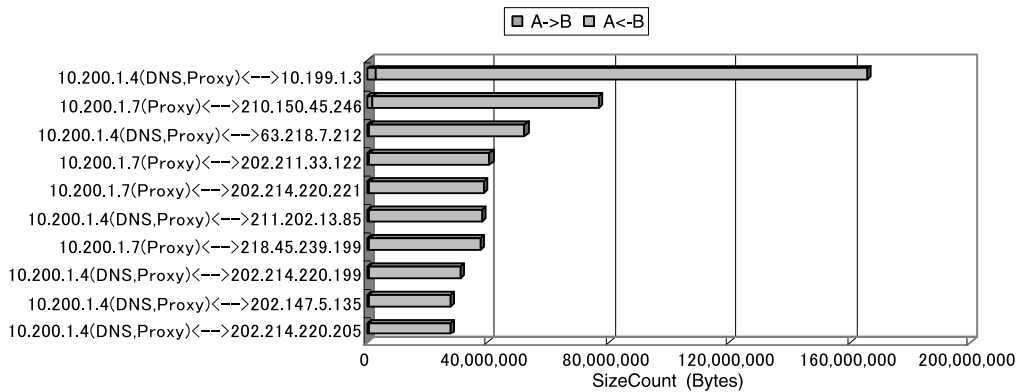


図 7 端末交流 TOP10 (Summit4~Firewall)

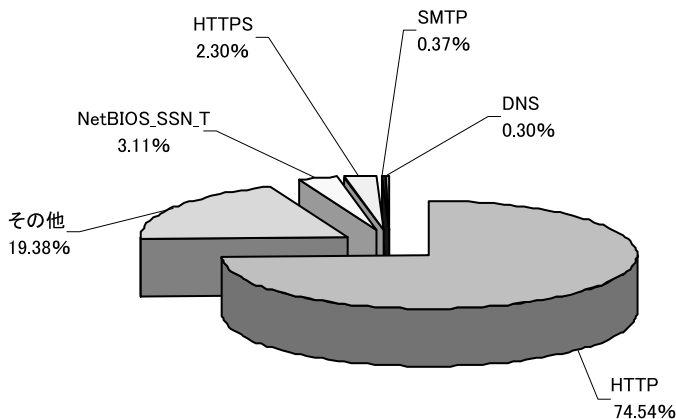


図 8 プロトコル分布 (Summit4~Firewall)

Web の 1 ページ完全表示を完了とする。各処理時間の内訳を、図 9 に示す。

図 9 は、クライアント処理の方がサーバ処理より時間を費やしていることを示し、ネットワークの処理よりもクライアント & サーバの処理の方が時間を費やしていることを示している。また、有線ネットワークをどれだけ高速にしても、0.1 秒しか早くならないことを示している。

(2) レスポンス測定 (クライアント～Mail サーバ)

メールの受信 (POP) 終了を完了とする。各処理時間の内訳を、図 10 に示す。

図 10 は、プロトコル依存により応答

待ち時間が占める割合が多いため、処理に時間を費やしていることを示す。サーバ処理とクライアント処理に費やした時間のうち、クライアント処理の方がサーバ処理より時間を費やしていることを示している。また、有線ネットワークをどれだけ高速にしても、0.03 秒しか早くならないことを示している。

(3) レスポンス測定 (クライアント～File サーバ)

クライアント～ファイルサーバ間のファイルのやりとりを完了とする。各処理時間の内訳を、図 11 に示す。

図 11 は、クライアント処理の方がサー

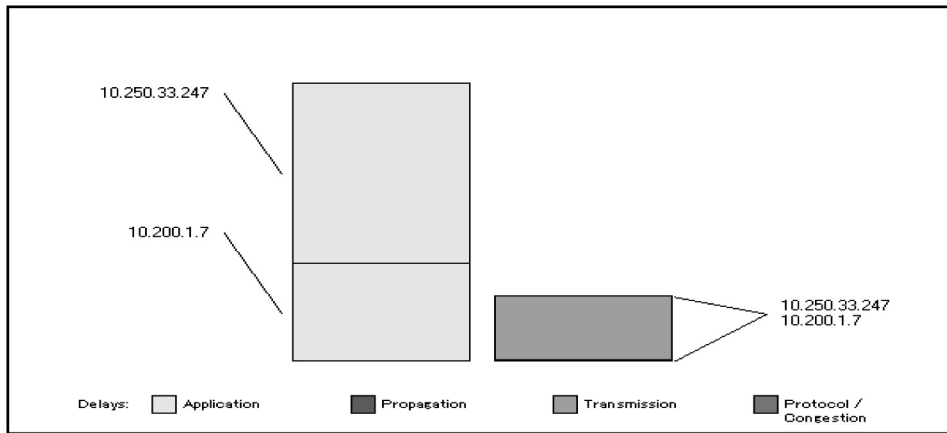


図 9 処理時間の内訳 (クライアント～Proxy)

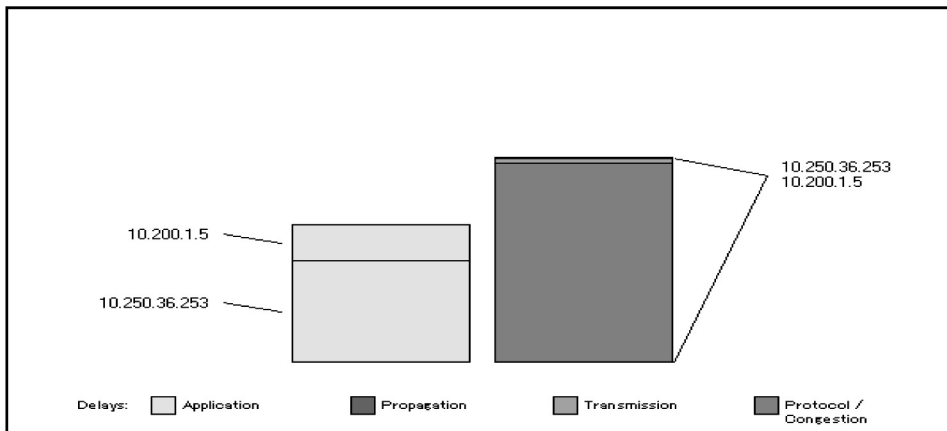


図 10 処理時間の内訳 (クライアント～MAIL)



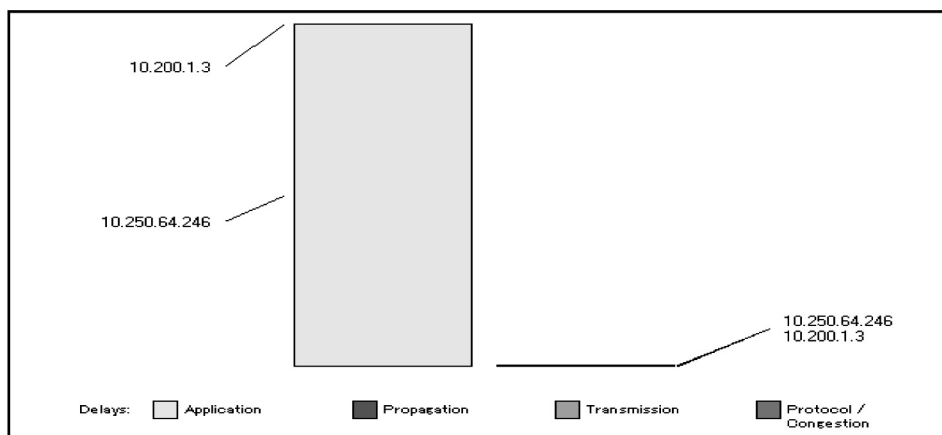


図 11 処理時間の内訳 (クライアント～File)

バ処理より時間を費やしていることを示し、ネットワークの処理よりもクライアント&サーバの処理の方が時間を費やしていることを示している。また、有線ネットワークをどれだけ高速にしても、0.1秒しか早くならないことを示している。

## 3.2. 無線 LAN

### 3.2.1. 測定概要

#### 1. 測定項目

- (1) 電波到達範囲
- (2) チャンネル配置
- (3) 外部電波による学内無線 LAN システムへの影響
- (4) アソシエーションクライアント状況
- (5) パフォーマンス測定
- (6) セキュリティ状態

#### 2. 測定日程

- (1) 平成 16 年 9 月 13 日
- (2) 平成 16 年 9 月 14 日
- (3) 平成 16 年 10 月 18 日

#### 3. 測定機器

- (1) AirMagnet Trio ver.3.2
- (2) AirMagnet Surveyor ver.1.0
- (3) SnifferPro 4.7

#### 4. 無線 LAN の規格

現在、高速無線 LAN 通信では 2.4GHz 近辺の周波数を使用している。この周波数帯は日本では、10mW 以下の出力であれば免許なしで利用できる。産業・科学・医学用の機器に用いられている周波数帯ということで、これらの頭文字をとって「ISM バンド」(Industry Science Medical band)とも呼ばれる。IEEE802.11b および IEEE802.11g はこの周波数帯を使用する。また、5GHz 近辺の電波周波数帯も無線 LAN で使用される。無線 LAN 規格の一つである IEEE 802.11a は 5GHz 帯を利用し、20Mbps～50Mbps という高速化を実現している。

本キャンパス内無線 LAN システムでは、IEEE802.11b を用いた通信を行っているため、測定については IEEE802.11b を中心に行う。ただし、一部のアクセスポイントについては IEEE802.11g と IEEE802.11b の両方を使用可能なモードで稼動しているものが存在している。IEEE802.11b と IEEE802.11g については相互に互換性があり同時に使用することが可能となるが、二つの規格を同時に使用すると、パフォーマンスが落ちるため、注意が必要である。

後述するパフォーマンステストにおいては、IEEE802.11g でアソシエーション可能

なアクセスポイントについては IEEE802.11g にてテストを実施した。

### 3.2.2. 測定結果

#### 1. 電波到達範囲

無線 LAN カバレッジテストでは、キャンパス内に設置されたアクセスポイントの電波がどこまで到達しているかを測定した。本調査では 6 号館 1 階, 2 階の講義室, 2 号館 サロンを測定対象とした。電波到達エリアを評価するために必要と考えられる間隔を考慮して測定間隔を決定した。今回の測定ではアクセスポイントごとにどこまでのエリアでどの程度の電波強度の受信感度があるのかを測定した。

キャンパス内無線 LAN システムでは電波干渉が多く発生している。例として 6 号館 1 階 601 講義室の測定結果を図 12 に示す。IEEE802.11 標準/ARIB 標準による受信入力レベルを基準に評価すると、 $-76\text{dBm}$  以上の受信電波強度があると、どのメーカーの無線 LAN クライアントアダプタで通信しても、IEEE802.11b の場合 11Mbps モードでの通信が可能ということになる。601 講義室には AP-25 (3ch) が設置されている状態であるが、11Mbps モードで通信可能な ch6 の強い電波を検出している。なおかつ、8ch

についても  $-77\text{dBm}$  という強いレベルでの電波を検出している状態である。この状態から想定すると、AP-25 にアソシエートしたクライアントについては問題なく通信が可能である。しかし、場所や電波状況によって他のアソシエーション可能なアクセスポイントに接続したクライアントは、強い電波干渉の影響を受け、アソシエーションできなったり、通信が途切れたり、パフォーマンスが落ちるといった通信への悪影響の発生が想定される。

さらに、無線 LAN からの信号は、固定の物体や移動する物体によって電波が反射されたり吸収されたりする。直接届く電波と反射波を同時に受信すると、反射によって時間的に遅れて届く電波が、直接受信した信号を歪ませるというマルチパス問題が生じる可能性が高い。特に、アクセスポイントの前後に鉄柱、ケーブル、鋼管などが敷設されていたり、障害物があり通信する場所から見えない場所にアクセスポイントが設置されていると通信障害の原因となる。今回測定した 6 号館ではフロア違いのアクセスポイントに強い電波が到達していることを計測した。これは、アクセスポイントの取り付け位置が天井裏となっている上に

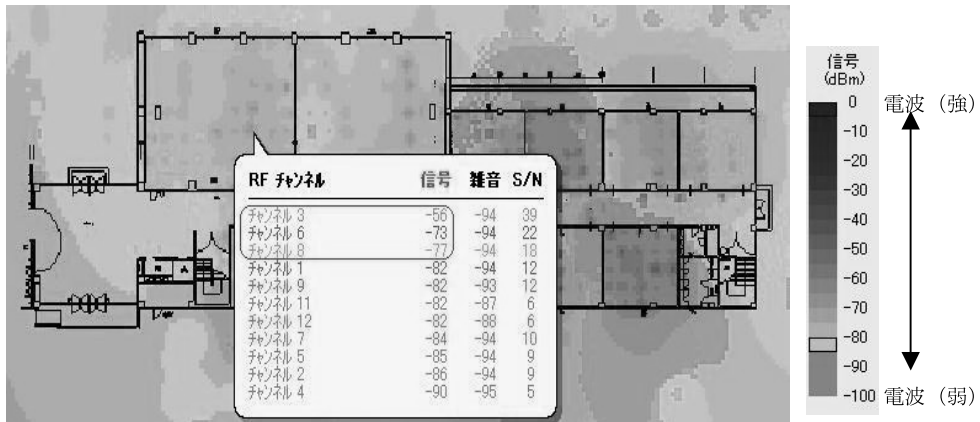


図 12 601 講義室の電波状況

アンテナが外部に出ていないという状態によるものと考えられ、マルチパスによる通信障害が発生している可能性が高い。特に1階に設置しているアクセスポイントの電波が2階まで強く届いている。これは、天井よりさらに上の天井裏にアクセスポイントを設置しているため、2階への強い電波の漏れを引き起こしているものと想定される。661講義室では部屋内に設置されたアクセスポイントより階下からの電波のほうが強い強度で到達しているエリアが存在する。これは、測定PCを設置した位置から部屋内に設置されたアクセスポイントの距離より、1階の天井裏に設置されたアクセスポイントとの距離の方が短いためであるといえる。天井裏にアクセスポイントを設置したため、一階天井から電波を遮るものが床のみとなっているため、2階では床下からかなりの強い電波が漏れるといった現象が発生していると想定される。図13に661講義室に到達している信号強度の強い電波を図示する。このポイントにおいては、2Fにて測定しているにもかかわらず、1Fに設置されたCH1 (AP-15) のアクセスポイントからの電波の強度のほうが強いことがわかる。

## 2. チャンネル配置

IEEE802.11bの規格では、各チャンネルは5MHz差の間隔をおいた22MHz幅なので、重複する帯域が存在する。1ch, 6ch,

11ch, 14chの場合22MHz以上差があるので、1アクセスポイントがカバーするエリアが重なっていてもオーバーラップしない。したがって、同じエリアで4chの同時使用が可能となる。

IEEE802.11gの規格ではチャンネルが13までしか使えないため、3chまでしか同じエリアで使用できない。本キャンパス内無線LANシステムにおいては、同じフロアで4ch以上のチャンネルを使用しており、そのチャンネルのセルが重なっていることによる干渉の発生が想定される。今後、IEEE802.11gの規格を使用することを主にするならチャンネル設計の見直しの検討が必要である。

また、無線電波の出力の特性として1つのチャンネルの中心値の周波数から離れた周波数で2番目に高い出力の電波が発生する。これをサイドローブと呼ぶ。サイドローブの影響があるため、チャンネルが離れていても、AP同士が非常に近いと干渉する可能性がある。6号館の講義室では同じ部屋内の近距離に複数のアクセスポイントを設置しているところがある。このような状態の講義室内ではチャンネルが離れている状態であってもサイドローブの影響による干渉が発生している可能性が高い。

セル設計の関係上、同じチャンネルのアクセスポイントの電波が中途半端に近くなってしまう場合、スループットはかなり悪化

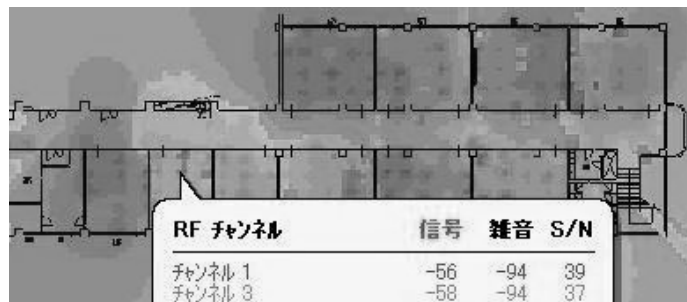


図13 661講義室(2F)に届いている強度の強い電波

する。

### 3. 外部電波による学内無線 LAN システムへの影響

キャンパス内に約 10m ごとの測定ポイントを設け、そのポイントで取得できるアクセスポイントからのデータ収集を実施した。

キャンパス内に設置された無線 LAN アクセスポイントとともに、キャンパス外に設置されたアクセスポイントから取得できるデータについても調査を行った。無線 LAN を使おうとするエリア内に、同じ周波数帯を用いた無線 LAN 通信があるとその電波の影響を受けるのはもちろんであるが、無線 LAN 通信機器以外にも同じ周波数帯を用いた機器があることに注意が必要である。

IEEE802.11b および g では 2.4GHz 帯の電波を使って通信している。この周波数帯は「ISM バンド」と呼ばれており、電子レンジ、コードレス電話、無線を使う液晶テレビ、アマチュア無線、ガンの治療に使う温熱療法機器まで様々な機器が利用している。このため、無線 LAN 機器の近くに ISM バンドを利用する機器があると、無線 LAN から見たときに「ノイズ」となり、通信に悪影響を及ぼすことがある。

しかし、今回の測定では、無線 LAN 機器以外のものの影響を受けているという結果はなかった。

キャンパス外では、一般の家庭のユーザが使用していると想定される無線 LAN の電波を微弱ではあるが検出するポイントが存在した。

ただし、キャンパス内無線 LAN 通信へは影響を及ぼさない電波レベルでの到達となっているため問題ではないといえる。

### 4. アソシエーションクライアント状況

アクセスポイントあたりに接続可能なクライアント数には特に制限は無い。ただし、

アクセスポイントはシェアードハブと同じ原理で、1 個のアクセスポイントにつながる端末が増えれば増えるほど、パフォーマンスの劣化を招く。パフォーマンスを考慮したうえで、適正な 1 アクセスポイントあたりのクライアント数は 10~30 台程度となる。ただしこの値はアクセスポイントや無線 LAN クライアントアダプタの性能に左右されるためあくまで目安である。

本調査では、607, 609, 659 講義室に設置されているアクセスポイントについてアソシエーションしているクライアント数について調査した。

607, 659 講義室については、クライアントについては若干の差はあるものの、部屋内に設置された 2 つのアクセスポイントに分散してアソシエーションしていることがわかった。しかし、これらのアソシエーションしているクライアントの設置位置がアクセスポイントの設置位置と対応しているかどうかは MAC アドレスによって確認する必要がある。ただし、電波強度によるローミングの問題が原因で、クライアント設置位置が一番近くて状態の良いアクセスポイントのアソシエーションできていない可能性もある。

609 講義室については部屋内に設置されたアクセスポイント AP-17 には 1 台もアソシエーションするクライアントが無いことがわかった。そのため、AP-16 に 30 台以上のアクセスポイントがアソシエーションされ、若干負荷が高くなっている状況が想定される。これは、アクセスポイント AP-17 の電源が落とされている、アクセスポイント側で障害が発生している、あるいはアクセスポイントの設定が間違っているなどの問題があると想定される。

### 5. パフォーマンス測定

2 号館サロンおよび 6 号館において講義室

表1 パフォーマンス測定結果

場所	フレームサイズ (byte)	パケット/秒	k ビット/秒	再試行回数	通信レート (Mbps)
2号館 (学生サロン)	128	1,015	1,190	219	11
	500	808	3,290	110	11
	800	680	4,358	114	11
	1,500	499	5,916	76	11
6号館 (講義室)	128	1,094	1,282	287	11
	500	835	3,401	270	11
	800	705	4,522	240	11
	1,500	509	6,038	216	11

内に設置された、アクセスポイントごとにスループット負荷試験を実施した。Airmagnetのパフォーマンス負荷テスト機能を用いて、アクセスポイントとAirmagnet 端末間で15秒間エコートラフィックを発生させた。テストデータの大きさのパターンは128バイト、500バイト、800バイト、1500バイトの4パターンについてそれぞれ3回のテストをその実施し、平均値をとった。一例を表1に示す。

#### (1) パケット数, バイト数

パケット数, バイト数については, テストデータのサイズが大きいほど, パフォーマンスは良くなっていることがわかる。

CSMA/CA 方式では各端末がデータパケットを送信するたびに相手側からACK パケットが送信される。また, パケットのヘッダやパケット間の間隔はオーバヘッドになることが, 原因である。

実用上はデータのサイズは無線LAN 上で使用するアプリケーションにより変化するため, もし, アプリケーションによってレスポンスが遅いものがあれば, データサイズが小さすぎるために発生している問題でないか疑う必要がある。

#### (2) 再試行回数

再試行はCSMA/CA ではデータの送信権を得たもののみが通信できるため, 送信権を得られなかったデータは再試行を行うことになる。

今回の測定では, 6号館のデータでは再試行回数かなり高くなっている。測定器以外では通信していないにもかかわらず, ビーコンのみの送信しかない状態で再試行回数が多いという状態は良い状態ではなく, 実際の運用上はパフォーマンスの劣化を招いている恐れがある。これは1つの場所で検出できるビーコンが多い, すなわちアクセスポイントを狭いエリアにたくさん立てすぎているために発生している問題であると考えられる。

2号館のデータについては測定時に他のクライアントからの通信があったタイミングで取得したデータについては, 若干再試行回数が増えているが, 他の通信がない状態での回数は少ないレベルとなっていることから, パフォーマンスに影響を与えるレベルには達していない。

#### (3) 通信レート

IEEE802.11b では4つの伝送レートがある。(1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps) 共通に受信できなければ困る

ヘッダ部を伝送レートによらず一定の速度（通常 1Mbps）の変調で送り、引き続くデータ部を機器のサポートと電波の状態（減衰やノイズ、妨害波）によって、最適な方式を選んで送信する仕組みとなっている。つまり、通常の通信がある場合は 11Mbps モード以外のパケットが増えると電波の状態が悪いと想定される。今回の測定ではほとんどのテストパターンにおいて、最高速度レートでの測定が可能であった。ただし、今回の測定は、実通信がまったくない状態での測定であるため、実運用上は、クライアントが複数つながり、大量のトラフィックが発生している状態では、速度のレートは下がっている可能性が高い。

#### 6. セキュリティ状態

無線 LAN (IEEE802.11a/b/g) の電波はコンクリートの壁でもある程度通過するため、電波を盗聴される恐れがある。アクセスポイントを壁側に置いたり、電波出力を過剰に上げていると盗聴されやすくなる。

今回の測定では、キャンパス内の無線 LAN アクセスポイントが外部の住宅地エリアまで到達し、漏れていることがわかった。アクセスポイントの電波出力を下げることによって外部に漏れる電波を微弱にすることも可能であるがアクセスポイントの機種によっては電波出力のチューニングができないものがある。建物に電波漏洩防止するしくみを持たせる方法もあるが、採算があわない場合がほとんどであるため、「電波は漏れるもの」と考え、暗号化、認証する方向でセキュリティレベルを確保することが望ましい。本キャンパス内無線 LAN システムでは 128bit の WEP キーによる暗号化を使用した通信

を実施することにより対策を取っている。

## 4. 評価

### 4.1. 有線 LAN

基幹ネットワーク部分については負荷が非常に小さく、比較的快適な状況にある。しかしながら、File サーバとのパケットフローにおいてはパケットロスが発生しており、クライアント～無線 AP 部分に遅延原因があると考えられる。以下に、分析結果を示す。

#### 1. 回線使用率

全てのポートにおいて閾値を大きく下回っており、全く問題がない状態である。

#### 2. NonUnicast 率

NonUnicast パケットが回線使用帯域を占有するような状態ではなく、問題がない。

#### 3. エラー発生率

エラーパケットは測定時には発生していない。

#### 4. パケットサイズ

大きなサイズのパケットも見られるが、全体としては比較的小さいサイズのパケットが多く良好である。

#### 5. プロトコル分布

HTTP が多く、Proxy サーバや DNS サーバなど外部との通信が多い。

#### 6. レスポンスパケット送信状況

有線 LAN 部分については問題ないが、クライアント～無線 AP の部分に改善の余地が見られる。File サーバにおいては再送パケットが頻出しており、末端での遅延発生が予測される。

### 4.2. 無線 LAN

アクセスポイントが発出する電波がかなり強く、アクセスポイント間での電波干渉がかなりある。これが、無線 LAN の通信速度低下や 1 アクセス

ポイント当りのアクセスユーザ数の増加やアソシエーションクライアント数のアンバランスを発生させる可能性がある。以下に、分析結果を示す。

#### 1. 電波到達距離

各アクセスポイントにおいて、近隣のアクセスポイントからの電波干渉が発生している。これは、アクセスポイントの電波強度が強すぎることや、配置上の問題により発生しているものである。

#### 2. チャンネル配置

近距離に複数のアクセスポイントを設置しているケースがあり、このような状態ではチャンネルが離れている状態であってもサイドローブの影響による干渉が発生している可能性が高い。

#### 3. 外部電波による学内無線 LAN システムへの影響

キャンパス内では無線 LAN 機器以外のものを受けているという結果はなかった。キャンパス外では、一般の家庭のユーザが使用していると想定される無線 LAN の電波を微弱ではあるが検出するポイントが存在したが、キャンパス内無線 LAN 通信へは影響を及ぼさない電波レベルであるため問題ではない。

#### 4. アソシエーションクライアント状況

一部のアクセスポイントを除いて、現状ではアソシエーションクライアント数は問題ない。

#### 5. パフォーマンス

パケット数、バイト数については問題がないが、再試行回数については 6 号館においてかなり多いという問題がある。また、通信レートについては、実通信がない状態では問題がないという結果が得られているが、多数のクライアントがつながり大量データを転送している状況では問題が発生している可能性がある。

#### 6. セキュリティ状態

SSID ならびに WEP を設定しており、現状では問題はない。ただし、さらなるセキュリティを強化するためには、WEP キーの定期変更など考慮すべき事項が存在する。

### 5. 考察

関屋キャンパスにおける大規模無線 LAN においては、現在の使用状況では有線 LAN は性能上問題ない。無線 LAN については、アクセスポイント間の電波干渉・アクセスポイントあたりのユーザ数のアンバランス、ローミングが不可能等の問題から、スループットの低下や接続上の不具合を発生させていることが考えられる。

本問題については、アクセスポイントの電波強度を下げることによりある程度対処できるが、本キャンパスネットワークでは以下より簡単には実施することができない。

- クライアントの無線 LAN の実装は、PCMCIA カードによるものと内蔵方式によるものがある。内蔵方式の場合、無線アンテナをノート PC 全体に張り巡らすことが可能で、受信感度を高くすることができる。一方、PCMCIA カードの場合、無線アンテナはカード表面に限られるため受信感度を高くすることが難しく、指向性も強くなる。従って、内蔵方式にあわせて電波強度を決定すると、PCMCIA 方式では安定的な通信ができなくなる。
- 急速な技術進歩により年々無線 LAN の性能が向上しているため、新しい世代の製品に電波強度を合わせると、古い世代の製品では安定的な通信ができなくなる。古い世代の製品のために電波強度を合わせる、アクセスポイント間の電波干渉を発生してしまう。

従って、他の方法を考慮する必要がある。これについては、アクセスポイントの再配置による電波干渉の低減により実現する方法が考えられる。

特に、6号館については1講義室に2台のアクセスポイントが設置されているものを1台にすることや、1階と2階のアクセスポイントの垂直方向への電波漏れを防ぐことにより電波干渉を低減させることが必要である。さらには、チャンネル配置の再設計を行い、無線LAN部分のスループットを向上させる必要がある。

## 6. おわりに

大阪樟蔭女子大学関屋キャンパスの大規模無線LANシステムについてトラフィック測定を行い、有線LAN部分ならびに無線LAN部分の評価を行った。有線LAN部分については、トラフィックは非常に少なく、ネットワーク、サーバとも現在のシステムで大きな問題はない。無線LAN部分については、アクセスポイント配置や電波強度の問題から、スループットの低下や接続の不安定が見られる結果を得ており、今後の改善が必要である。

無線LANについては、現在はIEEE802.11bと互換があり、高速なIEEE802.11gが広く普及し始めている。関屋キャンパスのネットワークにおいても、2005年度よりIEEE802.11gのPC内蔵型無

線LANを導入した。現在は、さらに高速な規格として100Mbpsを実現するIEEE802.11nがIEEEワーキンググループにて検討されており、今後の主流となってくることが予想される。このように無線LANシステムの技術開発は急速に発展しているため、従来製品は急速に陳腐化する。関屋キャンパスの無線LANについても、従来製品との互換性を実現維持しつつ無線LANシステムの更新を計画的に検討する必要がある、得られたデータは、今後の大規模無線LANネットワークを設計する場合の基礎資料として使用することができる。

今後、関屋キャンパス無線LANの理論的なトラフィック解析を行い、本研究で得られたデータと比較することにより、より正確な大規模無線LANシステムの設計が可能となるように検討する。

## 文 献

- [1] 小牧省三・間瀬健一・松江英明・守倉正博著、無線技術とその応用3無線LANとユビキタスネットワーク、小牧省三編、丸善株式会社、2004。
- [2] 守倉正博・松江英明、“IEEE802.11準拠無線LANの動向,” 信学論(B), vol. J84-B, no. 11, pp. 1918-1927, Nov.2001.

# Traffic measurement and analysis of large-scale wireless LAN

Osaka Shoin Women's University  
Kiyoto TANAKA

## ABSTRACT

We build the large-scale wireless LAN system which used IEEE802.11b. at Osaka-Shoin Women's University Sekiya campus. We report traffic measurement and analysis of this wireless LAN system.

**Keywords:** Wireless LAN, IEEE802.11b, Traffic