

3.2. 超高速無線LANおよび高速無線LAN環境下における将来を見据えた適用分野検証設備の検証結果

3.2.1. はじめに

平成14年度 総務省「e!プロジェクト（教育分野）」において、対象学校内（第三小学校および第四中学校）での高速無線LAN、同学区内での高速無線LAN環境に関して以下のように設計・構築を行った。ネットワークの全体図についてはの図3.2.1 ネットワーク全体図とおりである。

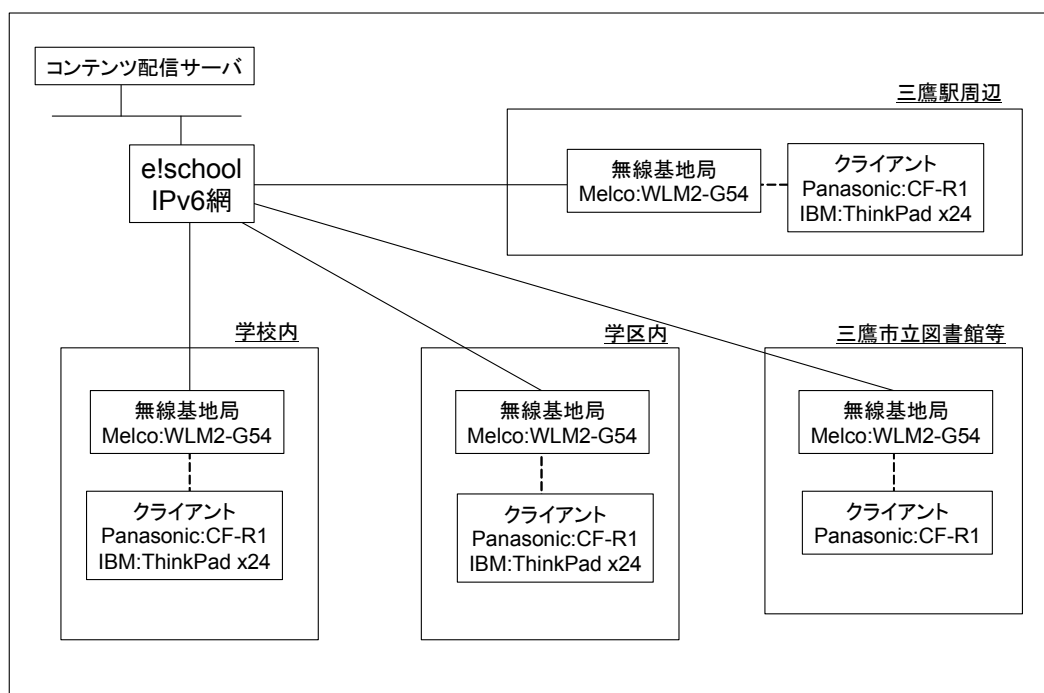


図 3.2. 1 ネットワーク全体図

3.2.1.1. 第三小学校

対象PCを285台とし、校内の3階の7教室、2階の三小図書館、1階の職員室、別棟の体育館に高速無線LANのネットワークを構築した。4年生、5年生、6年生の各教室に対しては1クラス30名ほどで同時にアクセスすることを想定して設計し、検証する上でドリル型教育コンテンツ「ポケット2」、IPv6 マルチキャストおよびIPSecによる映像配信システム「三鷹ポータル」「デジタルムービーパーク」、ネットワークの回線速度を測定するソフト「NetMi」（フリーウェア）、IPv6 高度推進協議会のIPv6向けコンテンツサイト (<http://contents.pr.v6pc.jp>) のIPv6対応映像ストリーミング配信コンテンツを使用した。

第三小学校内で検証のために使用した設備、機器については以下の通りである。

- (1) 学校用アクセスポイント装置：メルコ WLM2-G54
- (2) 高速無線 LAN 検証用端末：Panasonic Let's note Mini CF-R1
- (3) デジタルビデオ映像送信装置：Panasonic NV-GX7K
IBM ThinkPad X24
- (4) デジタルムービーパーク送信用装置：IBM ThinkPad X23
USB カメラ

第三小学校のNW図および設備・機器の設置場所については図3.2.2第三小学校ネットワーク図および図3.2.3第三小学校内機器設置図のとおりである。

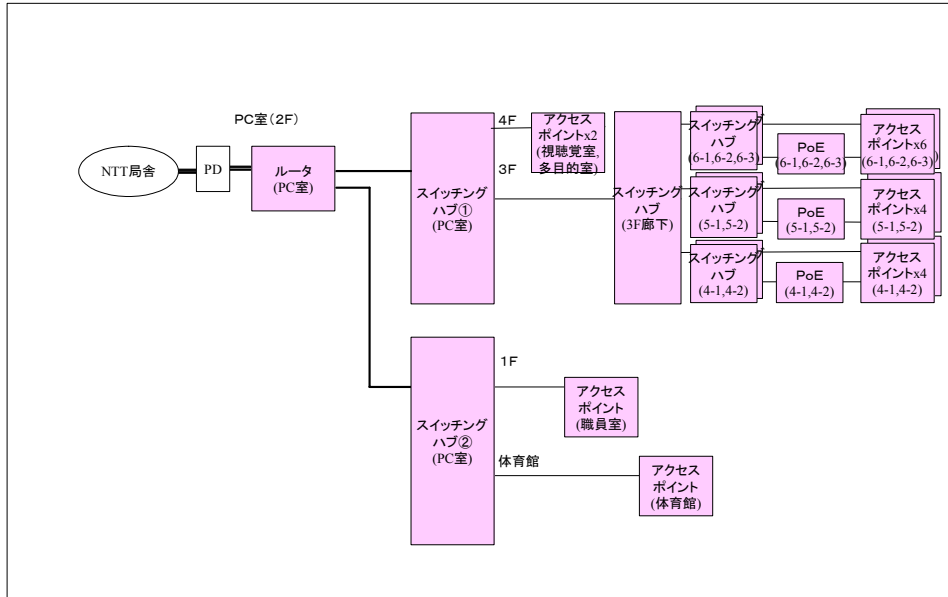


図 3.2. 2 第三小学校ネットワーク図

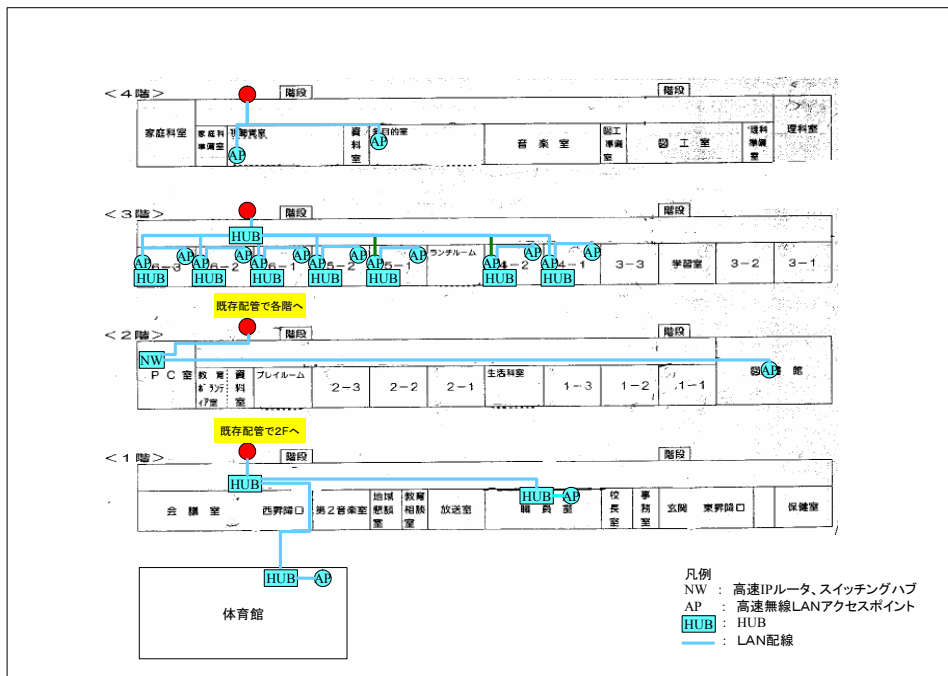


図 3.2. 3 第三小学校内機器設置図

3.2.1.2. 第四中学校

対象PCを215台とし、校内の北校舎4階の1年生の各教室(4クラス)、3階の2年生の各教室(4クラス)、2階の職員室、南校舎の生涯学習室、別棟の図書館、体育館に高速無線LANのネットワークを構築した。検証する上でIPv6マルチキャストおよびIPSecによる映像配信システム「三鷹ポータル」「デジタルムービーパーク」、ネットワークの回線速度を測定するソフト「NetMi」(フリーウェア)、IPv6高度推進協議会のIPv6向けコンテンツサイト(<http://contents.pr.v6pc.jp>)のIPv6対応映像ストリーミング配信コンテンツを使用した。

第四中学校内で検証のために使用した設備、機器については以下の通りである。

- (1) 学校用アクセスポイント装置：メルコ WLM2-G54
- (2) 高速無線LAN検証用端末：IBM ThinkPad x24
- (3) デジタルビデオ映像送信装置：Panasonic NV-GX7K

IBM ThinkPad x24

第四中学校のNW図および設備・機器の設置場所については図3.2.4 第四中学校ネットワーク図および図3.2.5 第四中学校機器設置図のとおりである。

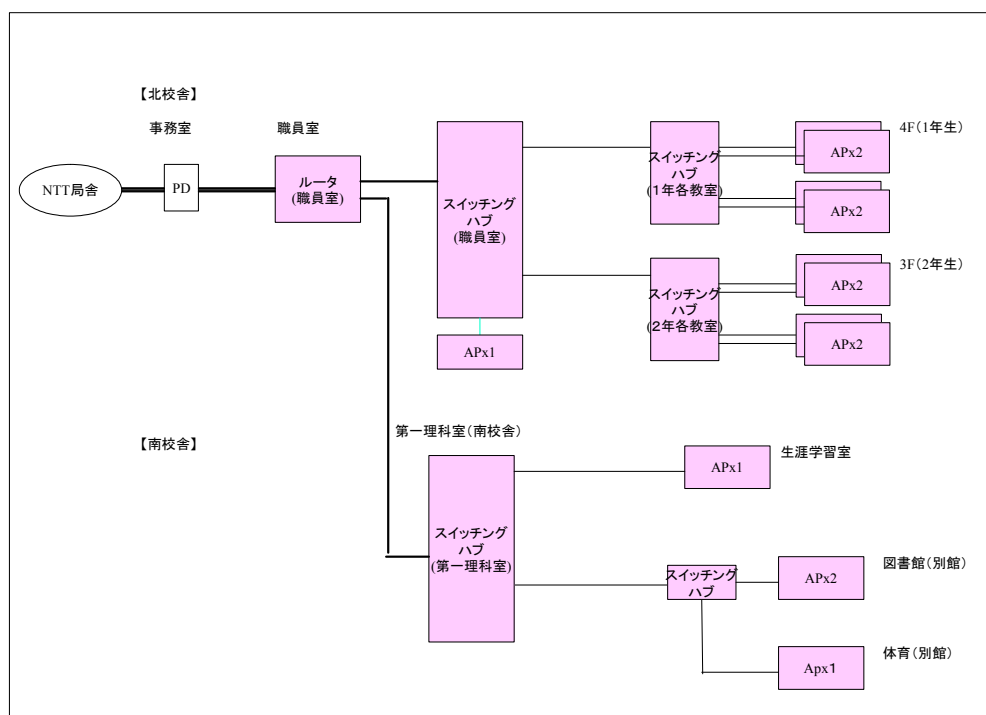


図 3.2. 4 第四中学校ネットワーク図

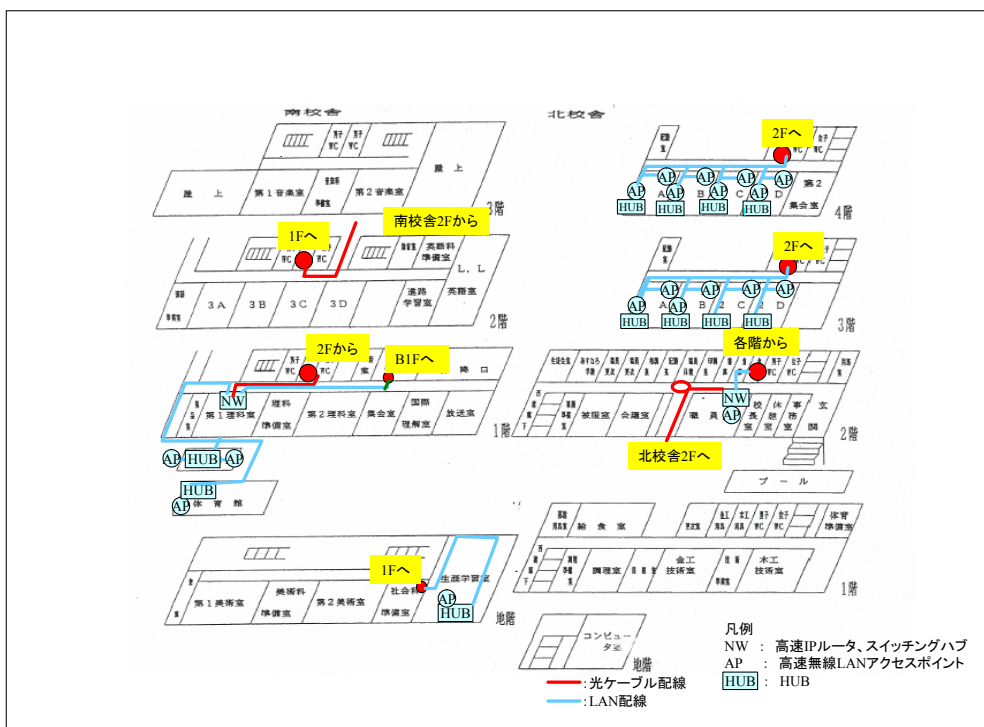


図 3.2. 5 第四中学校機器設置図

3.2.1.3. 学区内

対象学校である第三小学校の児童および第四中学校の生徒の屋外環境下での野外授業等のライブ配信、また放課後の自宅学習を進めるためのポケット2等の学習コンテンツを検証するために、高速無線 LAN ネットワークを設計・構築した。

学区内のご家庭に高速無線 LAN ネットワークを構築するため、2003 年 1 月に第三小学校の保護者へ向けて保護者説明会を催した。保護者会ではアンケートを配布し、後日回収をおこなった。そのアンケートに従って電話で設置や工事に関しての承諾を得て、工事調査の日程調整をおこなった。MMCATV および NTT 東日本によるアクセスラインの工事の後に無線 LAN アクセスポイントの設置工事および疎通テストをおこなった。

各設置場所からは、クライアント端末から高速無線 LAN アクセスポイント、ケーブルモデム、MMCATV 網を通じ、e!スクール三鷹モデルのコンテンツサーバ等やインターネットにアクセスする。そのなかで MMCATV 網が利用できない学区内の家庭では NTT 東日本の B フレッツを利用し e!スクール三鷹モデルのコンテンツサーバ等やインターネットにアクセスする。MMCATV 網の利用ができない場合の代替手段に NTT 東日本の B フレッツを選択した理由は高速無線 LAN アクセスポイントの規格上の伝送速度が 54Mbps であるため、

それ以下の伝送速度のアクセスラインを使用すると、その部分がボトルネックとなってしまふとためである。

検証する上で IPv6 マルチキャストおよび IPSec による映像配信システム「三鷹ポータル」「デジタルムービーパーク」、IPv6 高度推進協議会の IPv6 向けコンテンツサイト (<http://contents.pr.v6pc.jp>) の IPv6 対応映像ストリーミング配信コンテンツを使用した。

学区内で検証のために使用した設備、機器については以下の通りである

- (1) ケーブルモデム：フジクラ製 FCM-140U
- (2) 学区用アクセスポイント装置：メルコ WLM2-G54
- (3) 高速無線 LAN 検証用端末：Panasonic Let' s note Mini CF-R1
IBM ThinkPad x24

学区内における屋外環境下での高速無線 LAN による野外授業等のライブ等のライブ配信については今年度は検証を実施することができなかったが、デジタルビデオ画質を使用する通信媒体によって低レートでも送信できるような仕様の映像送信装置を検討し、来年度に検証すべき項目としたい。

3.2.1.4. 三鷹駅周辺施設

第三小学校の児童および第四中学校の生徒が屋外環境下において高速無線 LAN による野外授業等のライブのライブ配信の通信の検証や、三鷹市民の市民レベルでの映像コンテンツを中心とした通信の検証のために高速無線 LAN ネットワークを三鷹産業プラザ、駅前市政窓口、タウンプラザ（三鷹国際交流協会）、三鷹市立図書館（図書館本館）、コミュニティプラザ（駅前図書館）、国際基督教大学に設計・構築した。検証する上で IPv6 マルチキャストおよび IPSec による映像配信システム「三鷹ポータル」「デジタルムービーパーク」を使用した。検証のために使用した設備、機器については以下の通りである。

- (1) 市民サービス施設用アクセスポイント装置：メルコ WLM2-G54
- (2) 市民サービス施設用高速無線 LAN 検証用端末：Panasonic Let' s note Mini CF-R1

三鷹駅周辺施設を利用しての市民レベルでの映像コンテンツを中心とした通信状態については、駅前市政窓口、コミュニティプラザ（駅前図書館）、タウンプラザ（三鷹国際交流協会）等の三鷹駅周辺にある NTT 東日本のダークファイバの引き込みのある拠点で「三鷹ポータル」の IPv6 マルチキャストでの映像コンテンツの視聴が可能であった。

3.2.1.5. 2.4GHz 帯の無線 LAN の特徴・特性について

今回、実証した高速無線 LAN の検証機器は IEEE802.11g（ドラフト）規格に準拠した

機器であるため 2.4GHz 帯の周波数帯を使用する。2.4GHz 帯の周波数は国際的に ISM (Industry Science Medical) バンドと呼ばれ、2.400~2.4835GHz が割り当てられる。その周波数帯を 5MHz ずつ区分し 13ch とし、1ch から 13ch までの中心の周波数は以下のように、1ch:2.412GHz、2ch:2.417GHz、3ch:2.422GHz、4ch:2.427GHz、5ch:2.432GHz、6ch:2.437GHz、7ch:2.443GHz、8ch:2.447GHz、9ch:2.452GHz、10ch:2.457GHz、11ch:2.463GHz、12ch:2.467GHz、13ch:2.472GHz となっている。以前は、図 3.2.6 無線 LAN 2.4GHz 帯チャンネルの右上にある「RCR STD-33 (小電力データ通信システム/ワイヤレス LAN システム標準規格)」で割り当てられた 2.471~2.497GHz のひとつのチャンネル(14ch)のみしか使用できなかったが、1999 年 10 月より郵政省 (当時) が「小電力データ通信システムの高度化」を推進するために、従来、産業科学医療用に利用されてきた周波数 2.400~2.4835GHz の帯域の利用条件を緩和し、「ARIB STD-T66 (第 2 世代小電力データ通信システム/ワイヤレス LAN システム標準規格)」で新たに追加して、この帯域で 13 のチャンネルを利用することができるようになった。

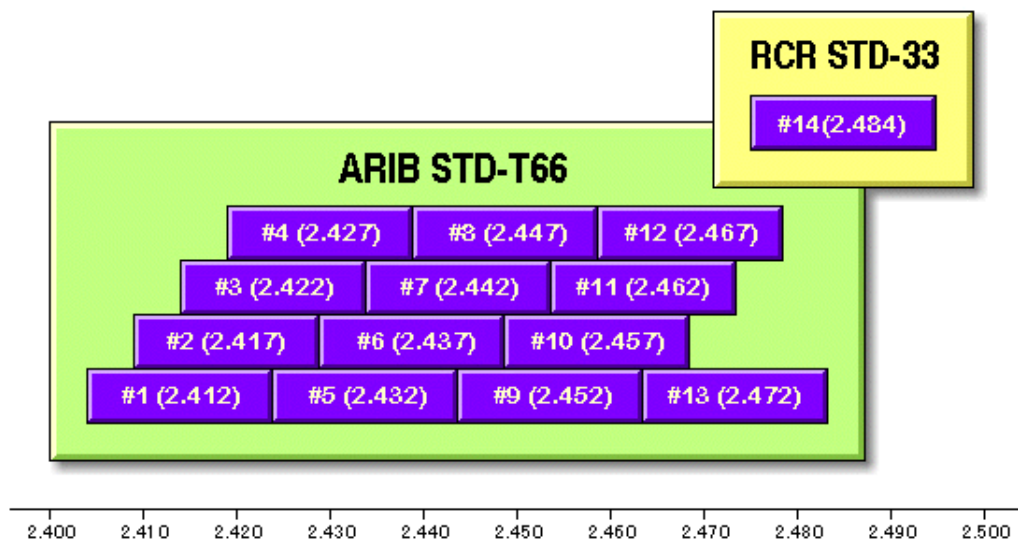


図 3.2.6 無線 LAN 2.4GHz 帯チャンネル

電波は基本的に免許制であるが、2.4GHz 帯の無線 LAN は「特定小電力無線局」と呼ばれる種別の無線設備であり、一定の基準のもとに証明を受けた製品が免許なしで利用できることになっている。しかし、アマチュア無線、家庭内にある電化製品や医療器具等のさまざまな機器が 2.4GHz 帯を使用することができるので、2.4GHz 帯の無線 LAN に対して多くのノイズがのってしまふことが懸念されている。

3.2.2. 伝播指向性と実証フィールドの適用領域の検証と評価

3.2.2.1. 検証にあたって

伝播指向性調査を効率的に調査するにあたり、どの場所で、実際の検証を行えばよいのかを、様々な実証フィールドでの実験を通して検討し、評価するものであり、実際のエリアの設計や、チャンネルの設計をするにあたり、変復調方式に OFDM 方式を用いた IEEE802.11g の特性や、メルコの高速無線 LAN 機器が、様々な環境で、どれだけ、電波が通るのかを知っておく必要がある。そのため、オフィス、学区内、学校、図書館等において電波の到達範囲、スループットの検証を実施した。

3.2.2.2. 検証目的

検証の目的は実証フィールドを前提として机上にて設計を行い利用可能な範囲を算出し、これを実証フィールドで検証するという、一連の作業を繰り返すことにより最終的には設計手法を確立することである。

3.2.2.3. 検証方法

- (1) 試験機を使用して電波の到達範囲の確認。
- (2) 無線アクセスポイントと実際のクライアントを最小限に設置し実際の IP パケットを用いて、その通信状態の確認。測定項目と条件は以下の通り。
 - 測定ソフトウェア ; ping、FTP、Netperf 等のパフォーマンスソフト
 - 送信データ ; 64byte から 1500byte 程度のパケット
 - 送信回数 ; 5 回送って、その平均値
 - 測定ポイント ; 見通し良好、一部見通し可、不良、壁にて遮断等
 - 設置環境 ; 住宅密集地、対象学校内、駅前周辺、ビル影、建物内
 - 伝送速度 : 何Mbps

3.2.2.4. 評価基準

- (1) パケットロス無く通信が可能であるか。
- (2) 送信データサイズにより、伝送速度に影響があるか。
- (3) 測定ソフトウェアにより影響があるか。
- (4) 見通し状況と伝送速度の関係はどうなっているか。
- (5) 設置環境により、伝送速度に影響があるか。
- (6) 継続的に実証を行う場所として適切か。
- (7) 効率的な実験データを収集することが可能か。

3.2.2.5. 検証内容

3.2.2.5.1. 検証 No. 1 「メルコ製無線 LAN 機器の単体動作検証」

(1) 検証日時

平成 15 年 2 月 14 日

(2) 検証場所

東京都千代田区大手町 NTT 大手町ビル 4F

(3) 検証構成

検証機器の構成を図 3.2. 7 近距離での実行速度に示す。

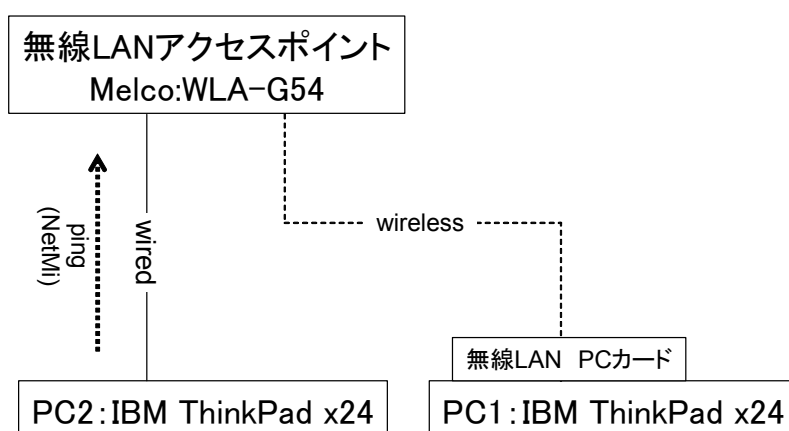


図 3.2. 7 近距離での実行速度

(4) 使用機器

- 無線 LAN アクセスポイント：メルコ製 WLA-G54
- 無線 LAN カード：メルコ製 WLI-CB-G54
- PC1：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumIII 1.06GHz
Memory：256MB
- PC2：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumIII 800MHz
Memory：128MB

(5) 検証アプリケーション

- ①FTP サーバ(War FTPd Ver1.65)
- ②NetMi Ver. 1.12

(6) 評価方法

- ①近距離（1m）にてスループットを測定する。
- ②PC1 でNetMi をサーバとして起動し(図 3.2. 9 Net Mi サーバ画面), PC2 のNetMi クライアント(図 3.2.4)からスループットを測定する。TCP パケットで 512Byte と 1460Byte の両方をぞれ 5 回ずつ測定した。
- ③WAR-FTP(図 3.2. 8 WAR-FTP 画面)でスループットを測定する。

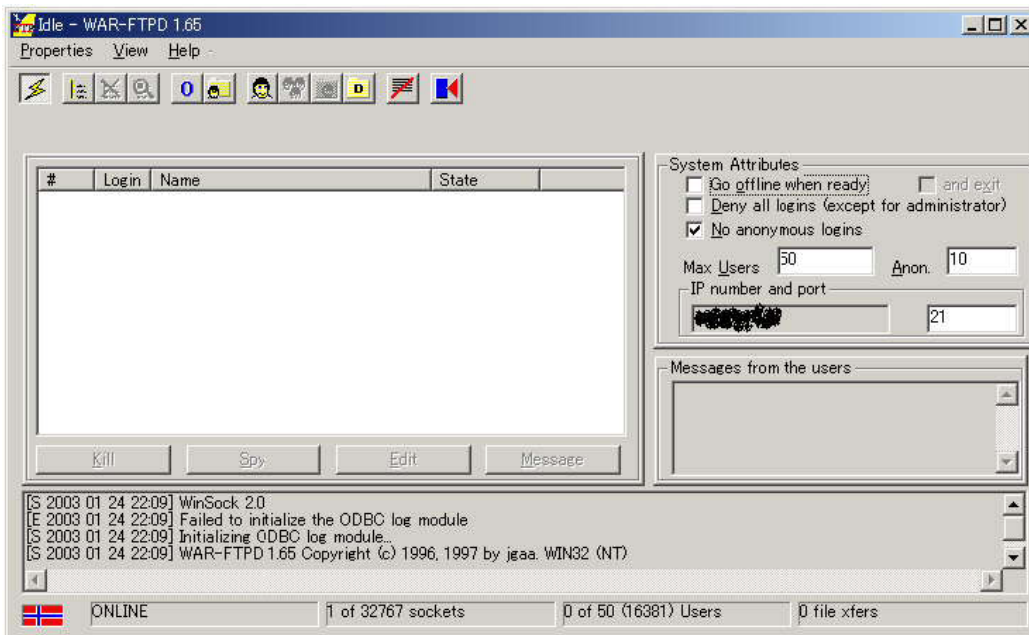
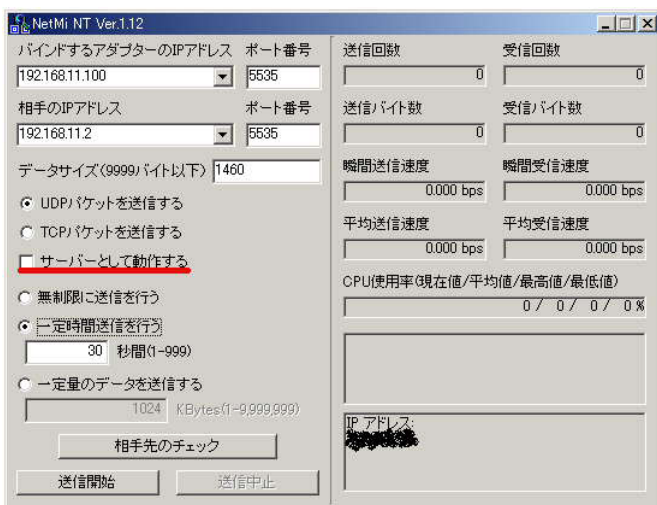
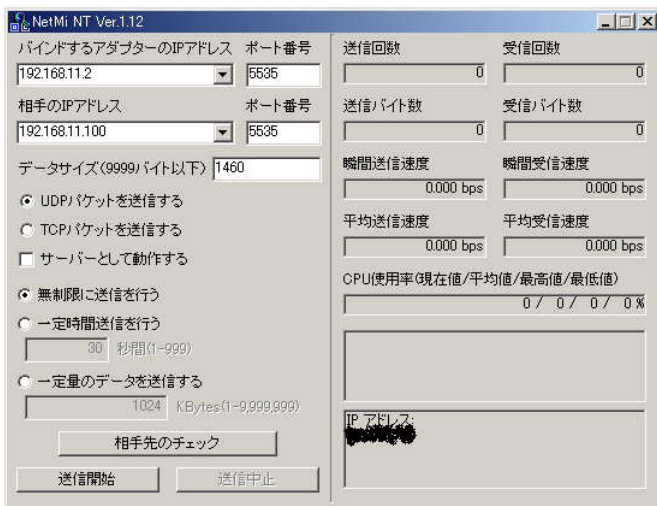


図 3.2. 8 WAR-FTP 画面



- ・ データサイズ=512[Byte]と 1460[Byte]
- ・ “サーバとして動作する”をチェックした
- ・ 30 秒間測定した
- ・ ポート番号は標準設定のまま

図 3.2. 9 Net Mi サーバ画面



- データサイズ=512[Byte]と 1460[Byte]
- “通信開始”ボタンで測定した
- 30 秒間測定した
- ポート番号は標準設定のまま

図 3.2. 10 Net Mi クライアント画面

④設置環境

図 3.2. 11 大手町測定場所のとおりに設置してスループットの測定を実施した。

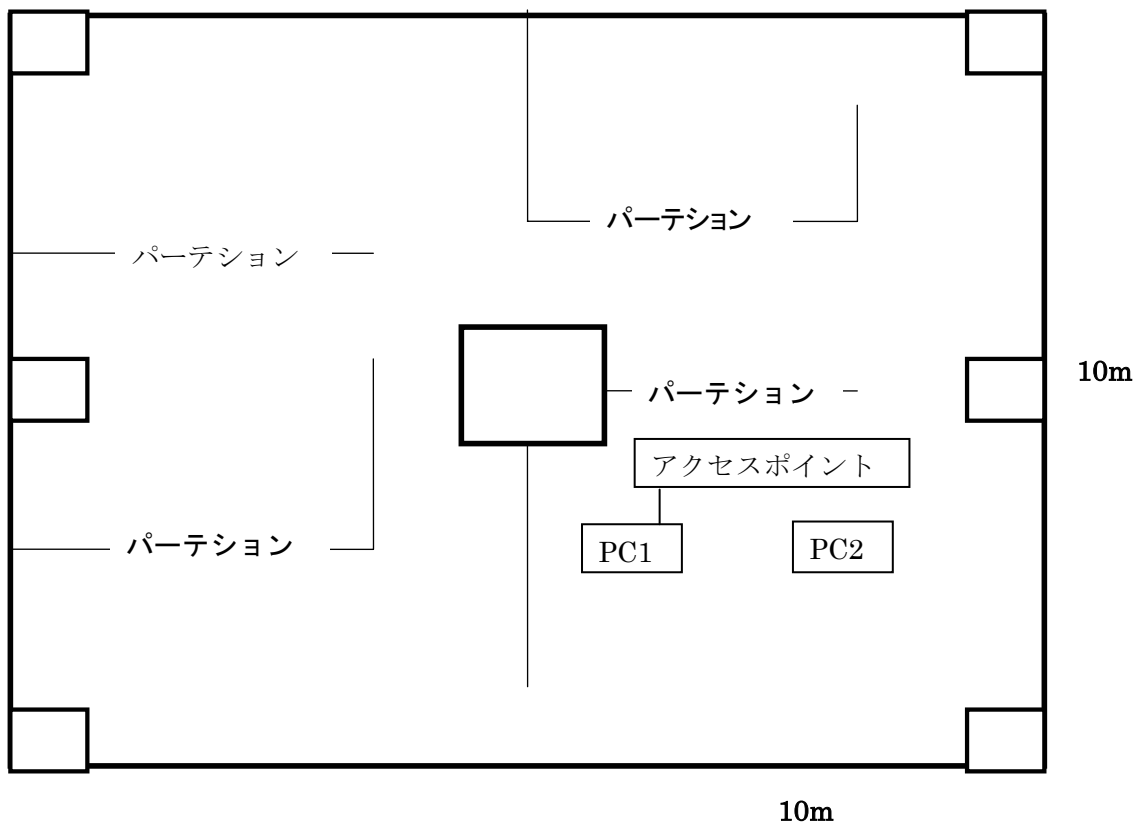


図 3.2. 11 大手町測定場所

⑤測定結果

表 3.2. 1 測定結果に測定結果を示す。

表 3.2. 1 測定結果

試験方法	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均(Mbps)	
NetMi	TCP512	6.65	6.18	6.23	6.71	5.81	6.32
	TCP1460	15.91	16.42	14.11	13.84	14.00	14.85

1mの近距離であり、受信電界も十分であるため、ほぼ予想していたスループット(15~20Mbps)に近い値であった。測定は送信データサイズを512Byteと1460Byteの2種類を実施したが、無線通信プロトコルの冗長分と無線LAN内部の処理オーバーヘッド等によるスループットの低下が発生するが、ロングフレームの場合にはオーバーヘッドの割合が減少するために、送信データサイズが大きいほどスループット大きくなっている。

3.2.2.5.2. 検証No.2「生涯学習施設(三鷹市立図書館)における伝播指向性の検証」

(1) 検証日時

平成15年3月22日

(2) 検証場所

図書館

(3) 検証構成

検証機器の構成を図3.2.12 APの設置位置検討に示す。

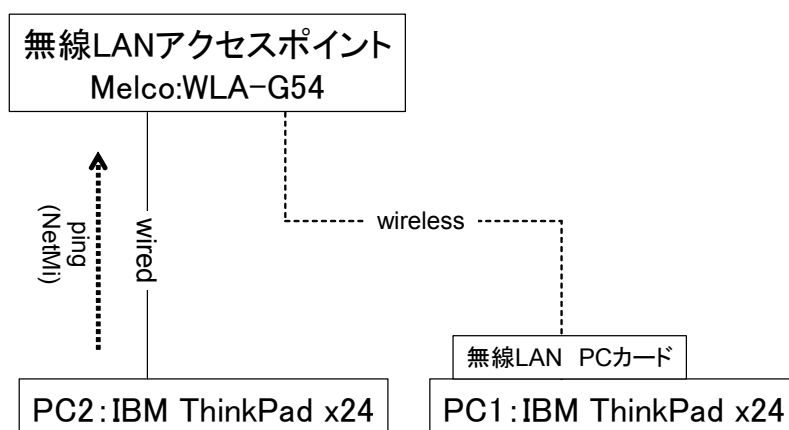


図 3.2.12 APの設置位置検討

(4) 使用機器

- 無線 LAN アクセスポイント：メルコ製 WLM2-G54
- 無線 LAN カード：メルコ製 WLI-CB-G54
- PC1：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumⅢ 1.06GHz
Memory：256MB
- PC2：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumⅢ 800MHz
Memory：128MB

(5) 検証アプリケーション

- ①NetMi Ver. 1.12
- ②FTP サーバ(War FTPd Ver1.65)

(6) 評価方法

- ①図書館内に数箇所の測定ポイントを設け、片方を有線で無線 LAN AP につなぎ、もう一方のノート PC と通信する。この検証は外部のネットワークとは切り離して行う。一回の送受信で行うデータは TCP と UDP パケットで 1460 Byte をそれぞれ 30 秒間の測定を 5 回行う。
- ②PC1 で FTP サーバ(War-FTPd Ver1.65)を起動し、PC2 の FTP クライアント(OS 付属のコマンドプロンプト上から実行)から 10Mbyte のファイルの送受信を行った。
- ③測定ポイントとして見通し良好、一部見通し可、不良、壁にて遮断等の場所を設定した。
- ④アクセスポイントの設置場所を変えて、スループットの変化を検証する。

(7) 設置環境

図 3.2.7 に測定場所を示す(1F①～③及び2F⑤)

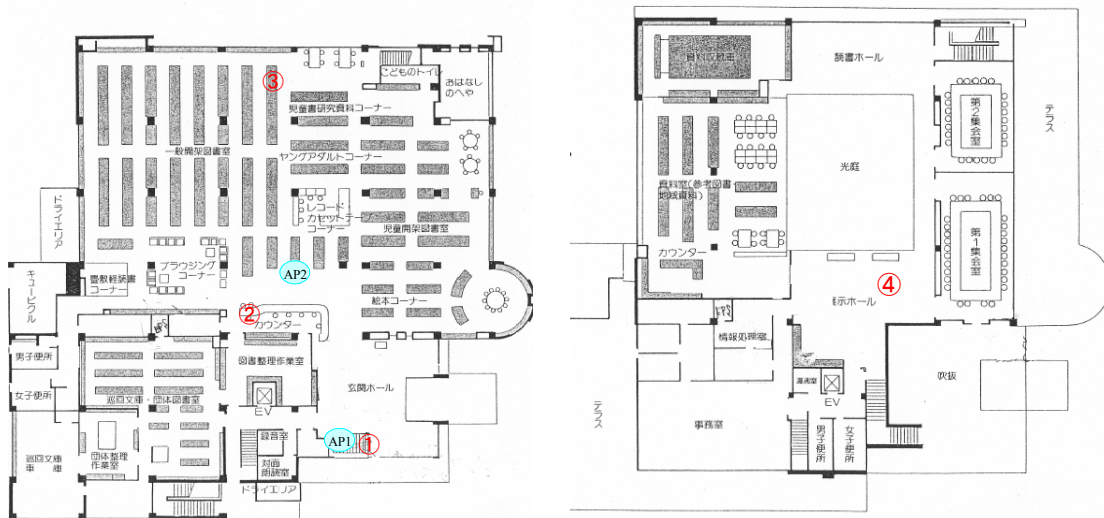


図 3.2.13 図書館 AP と測定ポイント

(8) 測定結果

NetMi、FTP によるスループットの測定結果を表 3.2.2 及び表 3.2.3 に示す。

表 3.2.2 スループットの測定結果

AP1 (AP現状位置での実効速度)

測定ポイント	シグナル	速度	試験方法	1回目	2回目	3回目	平均 [Mbps]	
1F-① 見通し良好	5	54Mbps	NetMi	UDP64	0.78	0.85	0.84	0.82
				UDP1460	15.18	14.85	14.84	14.96
			FTP	get	13.30	12.41	12.92	12.88
1F-② 見通し不良	2	1Mbps	NetMi	UDP64	0.07	0.03	0.06	0.05
				UDP1460	0.14	0.25	0.19	0.19
1F-③ 見通し不良	2	1Mbps	FTP	get	0.27	0.14	0.24	0.22
				NetMi	UDP64	0.26	0.36	0.28
2F-④ 見通し不良	1~3	11Mbps	NetMi	UDP64	1.30	1.16	1.12	1.19
				UDP1460	1.37	2.29	1.90	1.85
2F-④ 見通し不良	1~3	11Mbps	FTP	get	0.61	0.64	0.65	0.63
				UDP64	8.64	7.63	7.96	8.08
2F-④ 見通し不良	1~3	11Mbps	FTP	get	6.48	5.83	6.27	0.05
				UDP64	8.64	7.63	7.96	8.08

表 3.2.3 スループットの測定結果

AP2 (AP設置場所変更後の実効速度)

測定ポイント	シグナル	速度	試験方法		1回目	2回目	3回目	平均[Mbps]
			NetMi	FTP				
1F-① 見通し不良	1～3	54Mbps	NetMi	UDP64	0.21	0.92	0.90	0.68
				UDP1460	7.66	8.64	10.08	8.79
			FTP	get	5.36	5.10	4.44	4.97
1F-② 見通し良好	5	18Mbps	NetMi	UDP64	2.46	2.44	2.45	2.45
				UDP1460	22.87	24.18	23.04	23.36
			FTP	get	15.44	15.54	14.33	15.10
1F-③ 一部見通し可	2～4	54Mbps	NetMi	UDP64	1.97	2.12	2.20	2.10
				UDP1460	14.37	14.22	13.32	13.97
			FTP	get	7.56	8.50	9.29	8.45
2F-④ 見通し不良	2～4	18Mbps	NetMi	UDP64	0.97	0.85	0.72	0.85
		～		UDP1460	10.45	8.89	10.05	9.80
		24Mbps	FTP	get	6.85	7.29	7.03	7.06

アクセスポイント(AP1)の場合、測定ポイント1は近距離(約1m)見通しのため全く問題なかった。

見通し不良の測定ポイント2,3はスループットが2Mbps以下となった。特に測定ポイント2はアクセスポイント(AP)から近いが、受付カウンタ内の部屋の壁により遮られており、無線LANの周波数(2.4GHz)は回り込めなくて0.3Mbps以下になったと考えられるが、

受付カウンタ前の来館者達の行き来に伴う反射波により時々スループットが若干上がる。2階の測定ポイント5は見通し不良ではあるが、玄関ホールが吹き抜けとなっているため、2階に電波が回り込んでいると考えられる。測定ポイント4は、図書館の一番奥で遠く、また、高い書棚が多く並んでいるため接続も出来なかった。

受付カウンタで確実にPCが使えるように設置場所を変更したアクセスポイント(AP2)の場合、測定ポイント2は見通し良好となりスループットも最高値を示した。また、2階の測定ポイント5は1階のAP2のほぼ真上に位置しており、2階のフロアを通して設置変更前と同程度のスループットとなった。

見通し不良の測定ポイント1,4,5のスループットを上げるためにはAP2の位置で上に上げ1階の天井に設置すれば、かなり改善すると考えられる。

3.2.2.5.3. 検証 No.3 「学校内の伝播範囲の検証」

(1) 検証日時

平成 15 年 1 月 28 日

(2) 検証場所

第三小学校

(3) 検証構成

検証機器の構成を図 3.2.8 に示す。

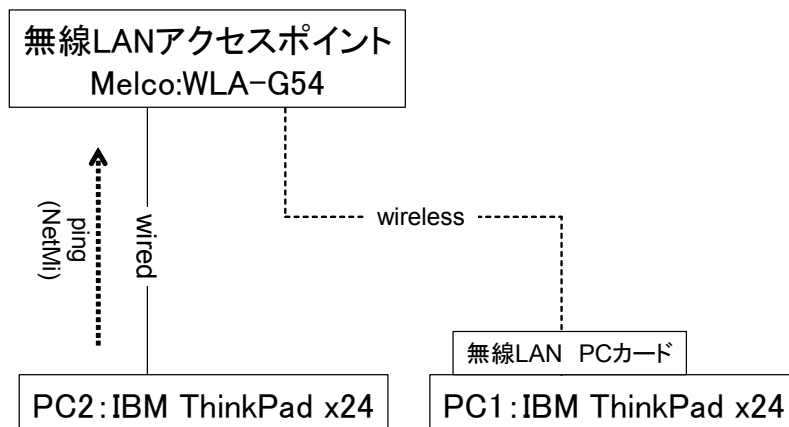


図 3.2.14 検証機器構成図

(4) 使用機器

- 無線 LAN アクセスポイント：メルコ製 WLA-G54
- 無線 LAN カード：メルコ製 WLI-CB-G54
- PC1：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumIII 1.06GHz
Memory：256MB
- PC2：IBM 製 ThinkPad x24
CPU：PentiumIII 800MHz
Memory：128MB

(5) 検証アプリケーション

- ① NetMi Ver. 1.12
- ② FTP サーバ (War FTPd Ver1.65)

FTP でファイルの送受信をおこない、速度を測定した。

(6) 評価方法

- ①アクセスポイントを第三小学校の2階の各教室及び体育館に設置し、各地点で以下のようにスループットを測定した。詳細は図 3.2.9 及び図 3.2.10 に示す。
- ②PC1 でFTP サーバ(War-FTPd Ver1.65)を起動し、PC2 のFTP クライアント(OS 付属のコマンドプロンプト上から実行)から 10Mbyte のファイルの送受信を行った。
- ③NetMi を用い、PC2 をサーバとして起動し、クライアントの PC1 へ TCP パケットと UDP パケット(1460byte, 30 秒間, ポート番号は標準設定)を送信し、その実行速度を測定した。

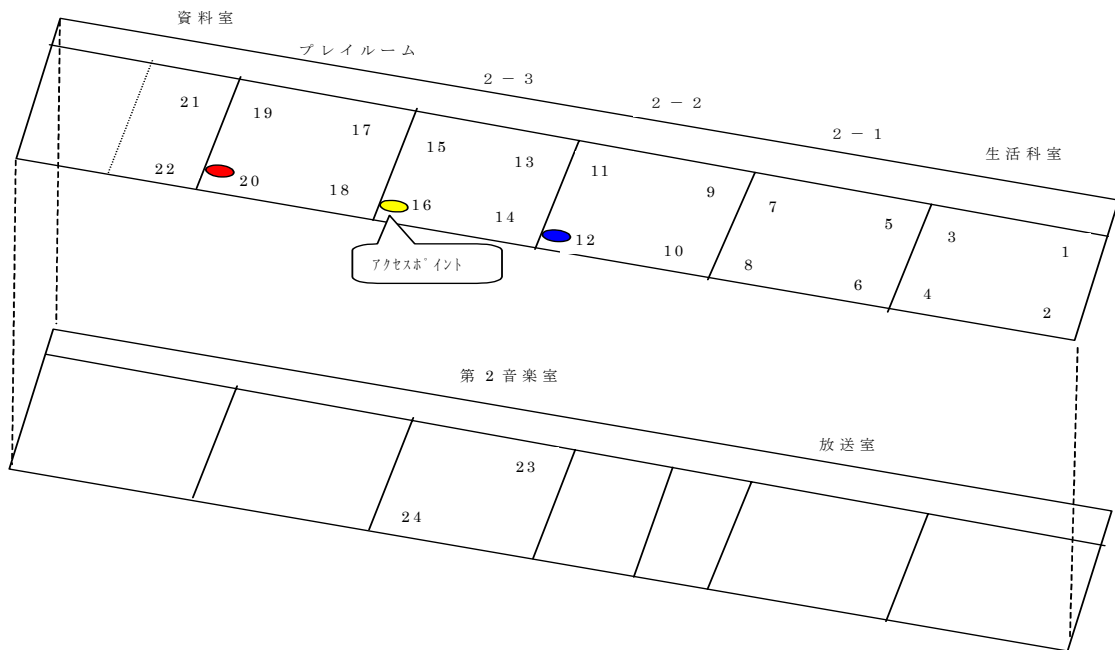


図 3.2.15 教室測定ポイント図

図 3.2. 16 体育館測定ポイント図にポイントを示す。

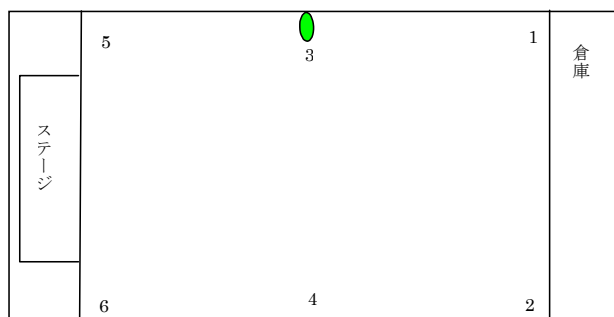


図 3.2. 16 体育館測定ポイント図

④測定結果

スループットの測定結果を表 3. 2. 4、表 3. 2. 5、表 3. 2. 6、に示す。

表 3.2.4 スループットの測定結果

測定場所；2年教室と生活教室 APの設置場所 2年2組

測定場所	階	測定ポイント	試験方法		平均 (Mbps)
2年1組	2	8	FTP	put	6.76
				get	5.15
			NetMi	TCP	7.78
				UDP	7.73
2年1組	2	6	FTP	put	9.25
				get	3.71
			NetMi	TCP	2.29
				UDP	3.35
生活科室	2	4	FTP	put	圏外で
				get	通信不可
			NetMi	TCP	圏外で
				UDP	通信不可

表 3.2.5 スループットの測定結果

測定場所；2年3組と第2音楽室 APの設置場所 2年3組

測定場所	階	測定 ポイント	試験方法		平均 (Mbps)
第2音楽室	1	24	FTP	put	11.83
				get	8.43
			NetMi	TCP	12.74
				UDP	12.15
第2音楽室	1	23	FTP	put	7.43
				get	3.32
			NetMi	TCP	5.22
				UDP	6.56

表 3.2.6 スループットの測定結果

測定場所；プレイルームと資料室 APの設置場所 プレイルーム

測定場所	階	測定 ポイント	試験方法		平均 (Mbps)
プレイルーム	2	17	FTP	put	19.20
				get	13.37
			NetMi	TCP	16.40
				UDP	12.65
プレイルーム	2	18	FTP	put	17.21
				get	13.19
			NetMi	TCP	12.22
				UDP	11.41
プレイルーム	2	19	FTP	put	14.52
				get	13.05
			NetMi	TCP	11.99
				UDP	10.30
資料室	2	21	FTP	put	11.32
				get	8.68
			NetMi	TCP	10.82
				UDP	10.19
資料室	2	22	FTP	put	17.06
				get	12.07
			NetMi	TCP	14.92
				UDP	12.01

表 3.2.7 スループットの測定結果

測定場所；体育館		APの設置場所 体育館2階			
測定場所	階	測定ポイント	試験方法		平均 (Mbps)
体育館	1	1	FTP	put	11.20
				get	7.71
			NetMi	TCP	9.11
				UDP	10.10
体育館	1	3	FTP	put	13.47
				get	8.85
			NetMi	TCP	11.29
				UDP	12.15
体育館	1	6	FTP	put	17.46
				get	8.88
			NetMi	TCP	9.71
				UDP	12.18

2年2組にアクセスポイントを設置した場合、2年1組もカバーエリアとなっており、1台のアクセスポイントのカバーエリアは、ほぼ前後の2教室となり合計4教室となり、その距離は、前に約20m、後ろに約20mであった。そのため、隣接する教室同士では周波数チャンネルを変える必要がある。

2年3組にアクセスポイントを設置した場合、下の階の第2音楽室もカバーエリアとなっており、特にアクセスポイントの真下に位置する測定ポイント24ではアクセスポイントのある教室のスループットとあまり変わらず、フロアによる減衰が考えていたよりも少なかった。上下階については3教室がカバーエリアとなる。そのため、隣接する階同士においても周波数チャンネル変える必要がある。

プレイルームにアクセスポイントを設置した場合、壁一つ隔てた測定ポイント22もアクセスポイントのある教室のスループットとあまり変わらず、壁による減衰も考えていたよりも少なかった。

体育館の2階にアクセスポイントを設置した場合、測定ポイント2,4,6は見通し良好のため十分なスループットが得られた。アクセスポイントから見通し不良の測定ポイント1,6も問題ないスループットであった。

3.2.2.6. 検証結果

(1) 試験機を使用して電波の到達範囲の確認。

検証 No2 の結果より PC1 に表示されるワイヤレスネットワーク接続の状態に表示されるシグナルの強さとスループットの相関により、シグナルの強さが 3 本以上であれば電波の到達範囲であると考えられる。三鷹市立図書館においては実際にこの表示を参考にして、アクセスポイントの設置場所を変更し通信可能な測定ポイントを 2 箇所から 4 箇所に増やした。

対象学校内では、インターネット検索、ネットフォン、映像配信等の使用が考えられるが、映像配信が一番帯域を要し、一人当たり最大 500kbps 程度なので 30 人使用を前提として最大 15Mbps となり、無線 LAN のスループットが 15Mbps 程度であれば十分であると考えられるので評価基準を 15Mbps とした。

検証の結果、アクセスポイントが設置された教室に於いては評価基準をほぼ満たした。また、ここでは具体的な例は載せなかったが、第三小学校の 7 教室に於いて TCP1460byte で実施した検証では、スループットは 10.88Mbps～20.16Mbps となり全体の 50%が評価基準を満足した。しかし、無線 LAN の特性のばらつきや、教室内での人の移動による電界強度の変化を考慮して 1 教室にアクセスポイントを 2 台置き負荷を分散させるのが妥当であると考えられる。

設置環境の建物内に相当する図書館に於いては仕事の内容からして 1.5Mbps もあれば十分と考えられるのである。評価基準を 1.5Mbps とした。

アクセスポイントの位置変更後の検証では、すべての測定ポイントに於いて評価基準を満足した。

(2) 無線アクセスポイントと実際のクライアントを最小限に設置し実際の IP パケットを用いて、その通信状態の確認。測定項目と条件は以下の通り。

- 測定ソフトウェア ; ping、FTP、Netperf 等のパフォーマンスソフト
- 送信データ ; 64byte から 1500byte 程度のパケット
- 送信回数 ; 5 回送って、その平均値
- 測定ポイント ; 見通し良好、一部見通し可、不良、壁にて遮断等
- 設置環境 ; 住宅密集地、対象学校内、駅前周辺、ビル影、建物内

検証 No 1、検証 No2、検証 No3 において測定ソフトウェアとして NetMi Ver. 1.12 FTP サーバ(War FTPd Ver1.65)を使用し検証した。このソフトは、これまでも IEEE802.11a の評価に使用していた実績のあるものである。

また、送信データは 64bytes、512bytes、1460bytes のいずれかのパケットとした。

送信回数は基本的には5回とし、ある程度の結果が出ているところでは3回とした。設置環境としては、主に対象学校内と建物内であり、見通し良好、一部見通し可、不良、壁にて遮断等の測定ポイントが存在する状況での検証を実施した。評価基準のパケットロスについてはアクセスポイントと同じ教室内では発生せず安定した電波環境であった。しかし、図書館に於いては、特に見通しの悪い環境ではパケットロスが頻繁に発生した。送信データサイズによる伝送速度への影響について表 3.2.1 が示すようにデータサイズが大きいほどスループットも大きくなっている。これは、無線通信プロトコルの冗長分と無線 LAN 内部の処理オーバーヘッド等によるスループットの低下が発生するが、ロングフレームの場合にはオーバーヘッドの割合が減少するために、送信データサイズが大きいほどスループット大きくなっている。

設置環境については、学校と図書館を比較すれば学校の方が格段に見通し良好な場所が多く伝送速度は速い。また、ほぼ同じ条件での上下階の伝送速度を比較すると小学校の方が速い結果が出ている。(表 3.2.3 のポイント 2F-5 UDP1460:9.80Mbps と表 3.2.5 のポイント 24 : 12.15Mbps より 2.35Mbps だけ速い。) 測定ソフトウェアによる影響については、第三小学校で測定した表 3.2.4 の結果から FTP と Net Mi では明らかにスループット値に差が出ていることがわかる。様々な環境における伝播特性を調査するので、測定方法の統一と、測定データの統一が必要である。見通し状況と伝送速度の関係については、図書館の例のように見通しが良いほど伝送速度は大きくなっている。継続的に実証を行う場所として適切かについては学校内であれば、下校後は時間、場所についてもかなり自由に使えるので適切である。効率的な実験データを収集することが可能かについても学校は最適と考えられる。また、図書館も大小の部屋、書棚、机などの障害物が揃っているため、様々な条件下でのデータが揃えられるので効率的な実験データを収集することが可能であると考えられる。検証を実施する中で、アクセスポイントに対するクライアントの向きによりシグナルレベルがかなり変わることが分かった。伝播志向性と無線 LAN の適用領域を検討する上では非常に重要である。

3.2.2.7. 考察

既に 5.2GHz 帯では OFDM 方式の無線 LAN の市販品があるが、屋外で使用できないことや通信距離が短いなどの欠点があり、あまり普及していない。

今回は IEEE802.11g (ドラフト) 規格の無線 LAN を使用して各設置環境で複数の測定ポイントを設定して電波の到達範囲の検証を実施してきたが、IEEE802.11g は、伝送速度が 54 Mbps なので IEEE802.11b より通信距離が約半分になることに注意する必要がある。これは伝送速度が高くなると受信感度が低下し通信距離が短くなることによる。し

かし、学校内では電波の到達範囲が半径 20m 程度となり広すぎ、逆に図書館では狭すぎる到達範囲となっている。正確な検証を行うためには、クライアントとアクセスポイントのアンテナ特性（利得と指向性）を把握して、アクセスポイントの取り付け方（壁掛け、据え置き、天井取り付け等）とクライアントの方向も考慮した設計を行う必要がある。また、指向性や高利得のオプションアンテナをうまく利用すればカバーエリアの設計の自由度が増すことになる。

IEEE802.11g（ドラフト）規格の無線 LAN は高速であるという特長のほかに、OFDM 方式のためマルチパスによる遅延分散に強いといえる。これまでの SS 方式(IEEE802.11b)の遅延分散による通信エラーが発生するため良好な通信回線を構築できなかった工場内や道路上の移動通信でも安定した性能が得られるといわれている。

電波の反射が発生しやすい工場やオフィス等でも検証が必要である。

以下、評価基準に対するまとめである。

- (1) パケットロス無く通信が可能であるか。
 - ・前述の通り、設置環境によりパケットロスは大きく変化する。
- (2) 送信データサイズにより、伝送速度に影響があるか。
 - ・今まで検討の通り、パケットサイズの短いものより、長いもののほうがスループットがよい。
- (3) 測定ソフトウェアにより影響があるか。
 - ・今回は NetMi と FTP を用いたが、それぞれのツールの特徴により左右されるので、判断が難しい。
- (4) 見通し状況と伝送速度の関係はどうなっているか。
 - ・明らかに見通しがきく方がスループットがよい。
- (5) 設置環境により、伝送速度に影響があるか。
 - ・エと同様で設置環境により大きく変化する。
- (6) 継続的に実証を行う場所として適切か。
 - ・市立図書館としては、今回は AP を 1 つだけしか置かないため、十分な検証は難しいが、第三小学校は隣り合った教室や階数が近い教室等で検証ができるため、継続的かつ様々な検証に適している。
- (7) 効率的な実験データを収集することが可能か。
 - ・第三小学校について、学校側が非常に積極的に e! の主旨を理解し、日常の授業に無線 LAN 検証用パソコンを使っており、特に、一時的に大量なトラヒックを発生可能であるため、効率的なデータの収集に適している。

3.2.3. エリア管理手法と無線基地局設置方針の検討と検証及び評価

3.2.3.1. 検証にあたって

通常の有線の LAN に比べて、無線 LAN はケーブルを敷設する必要もなく、クライアントから見て、ケーブルによる制約もないので、手軽にユビキタスネットワークを構築できると期待されている。今回、複数の無線 LAN アクセスポイントを設置する上での指針を検討する上で、三鷹第三小学校を中心に検証をおこなった。

3.2.3.2. 検証方法

- (1) 同一チャンネルエリアにある無線基地局のパフォーマンスの確認
- (2) 測定器による電波状態の確認
- (3) クライアントから見た通信状態の確認
- (4) 様々な場所に設置した場合での変化要因の確認
- (5) クライアントを継続的に移動させて場合の通信状況の確認

3.2.3.3. 評価基準

- (1) 最適なパフォーマンスが得られているか。
- (2) 電波状態は良好であるか。
- (3) 電波状態がパフォーマンスにどれだけ影響しているか。
- (4) 無線基地局の設置場所を変更した場合、他の無線基地局への影響が出るのか。
- (5) クライアントの移動速度と通信状況を影響度合い。

3.2.3.4. 検証内容

3.2.3.4.1. 検証 2. 1 同一チャネルエリアにおける干渉

(1) 検証日時

平成 15 年 3 月 25 日

(2) 検証場所

三鷹市上連雀 三鷹第三小学校 3 階

(3) 検証目的

同一チャネルの無線 LAN アクセスポイント同士を近づけて、そのパフォーマンスを測定することにより、同一チャネルの無線 LAN アクセスポイントをどれだけ近づけても良いか、どれだけの距離を離さなければならないかを検証する。

(4) 検証構成

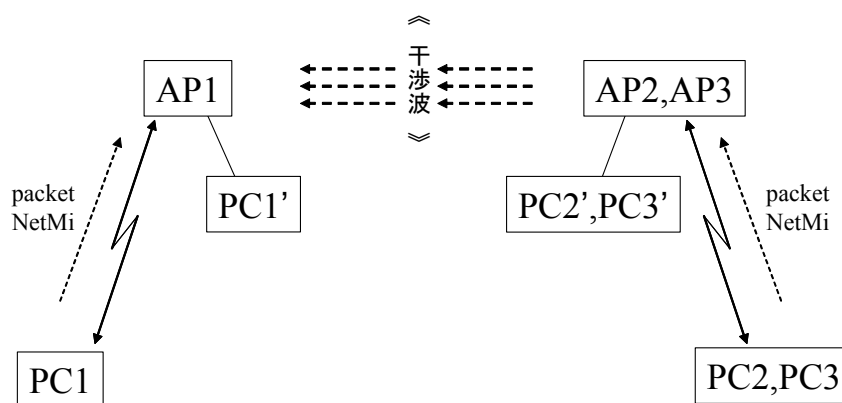


図 3.2. 17 同一チャネルエリア干渉検証 構成図

(5) 検証使用機器

- AP1 : メルコ製 WLM2-G54
13ch, 128bit wep-key を使用
- AP2 : メルコ製 WLM2-G54
13ch, 128bit wep-key を使用
- AP3 : メルコ製 WLM2-G54
13ch, 128bit wep-key を使用
- PC1 : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz

RAM 256MB

- PC1' : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- PC2 : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- PC2' : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- PC3 : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- PC3' : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- 無線 LAN カード : メルコ製 WLI-CB-G54

(6) 検証使用アプリケーション

- ① 「NetMi ver1.12」 (フリーソフト)
- ② 「NetStumbler」 (フリーソフト)

(7) 検証評価方法

アクセスポイントおよびクライアント PC を、以下の図 3.2. 18 検証 No.1 設置図から図 3.2. 23 検証 No.6 設置図のように検証機器を設置し、AP のチャンネルを同じ 13ch に設定する。NetMi で PC1' から PC1 へパケットを送信する。AP2 および AP3 の干渉波の影響の下で AP1 から PC1 へのスループットを測定し、アクセスポイント同士の距離とその影響を検証する。また、その際に NetStumbler で電波状況を確認した。

検証 No.1

廊下

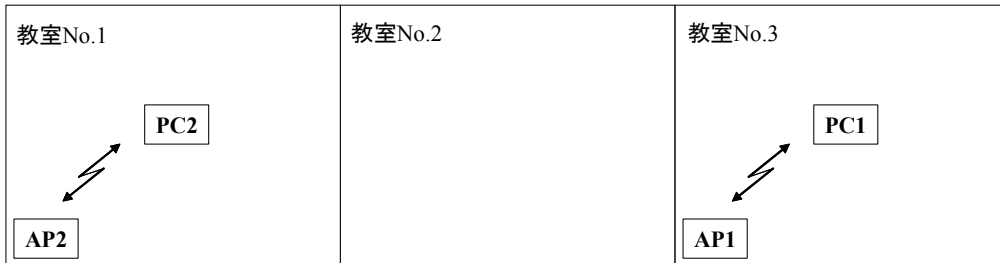


図 3.2. 18 検証 No. 1 設置図

検証 No.2

廊下

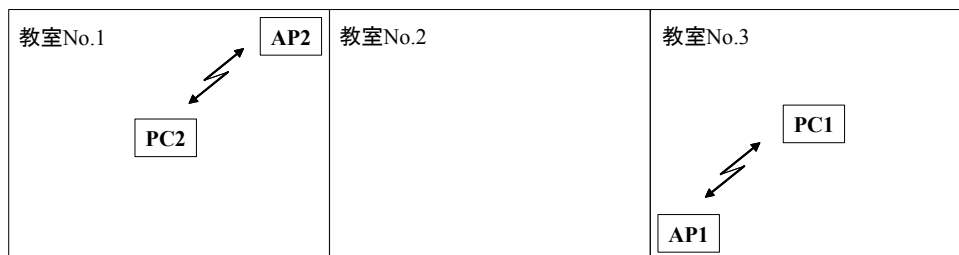


図 3.2. 19 検証 No. 2 設置図

検証 No.3

廊下

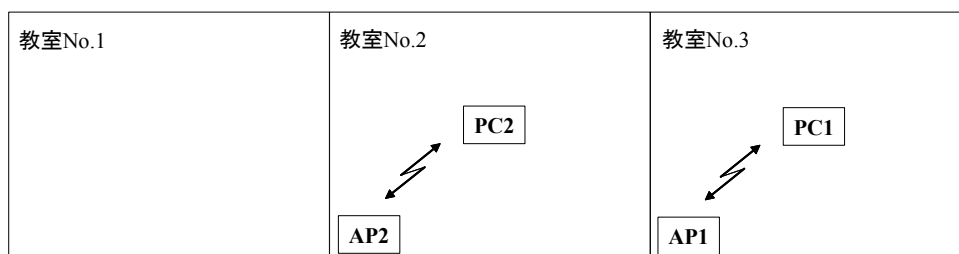


図 3.2. 20 検証 No. 3 設置図

検証 No.4

廊下

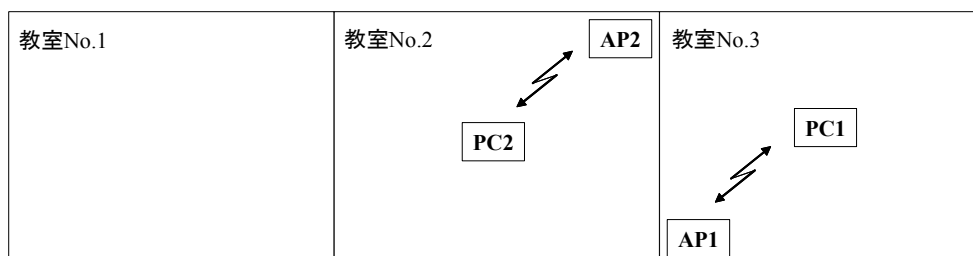


図 3. 2. 21 検証 No. 4 設置図

検証 No.5

廊下

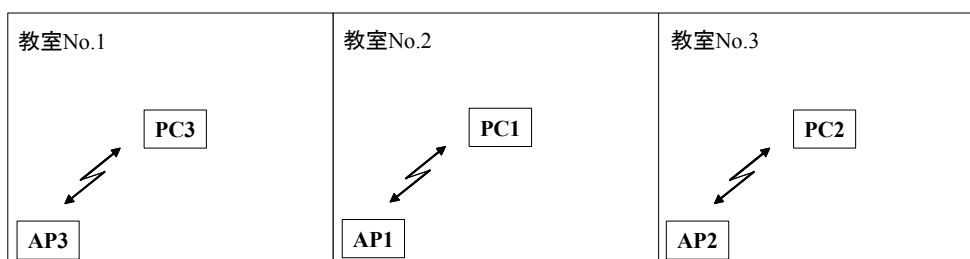


図 3. 2. 22 検証 No. 5 設置図

検証 No.6

廊下

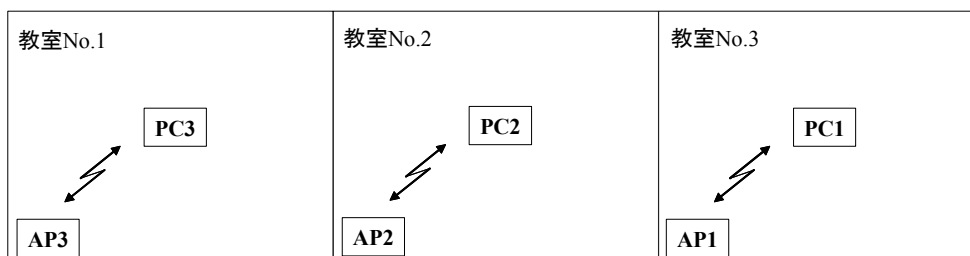


図 3. 2. 23 検証 No. 6 設置図

(8) 測定結果

以下の表 3.2. 4 干渉波によるスループットの影響に測定結果を示す。

表 3.2. 4 干渉波によるスループットの影響

	Packet	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	単位	平均 [Mbps]
検証 No. 1	TCP512	5.258	4.213	6.173	4.359	5.584	[MBps]	5.12
	TCP1460	11.896	11.457	11.395	7.652	10.451		10.57
検証 No. 2	TCP512	7.190	7.092	7.673	6.363	5.976	[MBps]	6.86
	TCP1460	14.258	15.979	17.068	13.176	13.153		14.73
検証 No. 3	TCP512	4.879	5.455	5.265	3.750	4.161	[MBps]	4.70
	TCP1460	6.956	7.705	9.106	6.945	6.931		7.53
検証 No. 4	TCP512	2.449	1.162	0.879	1.102	1.134	[MBps]	1.35
	TCP1460	4.464	3.318	4.231	4.702	4.363		4.22
検証 No. 5	TCP512	2.669	2.459	4.442	5.696	3.357	[MBps]	3.72
	TCP1460	3.475	5.276	6.344	4.853	7.118		5.41
検証 No. 6	TCP512	0.995	1.281	1.697	1.252	1.226	[MBps]	1.29
	TCP1460	2.496	2.281	3.434	2.702	2.948		2.77

注 1 : TCP 256Byte でも不安定な場合があったので 512Byte で測定した。

注 2 : 干渉波は, NetMi で TCP1460 バイト連続送信した。

各測定時に PC1 付近での電波状況を NetStumbler で測定した。以下にその測定画面を示す。

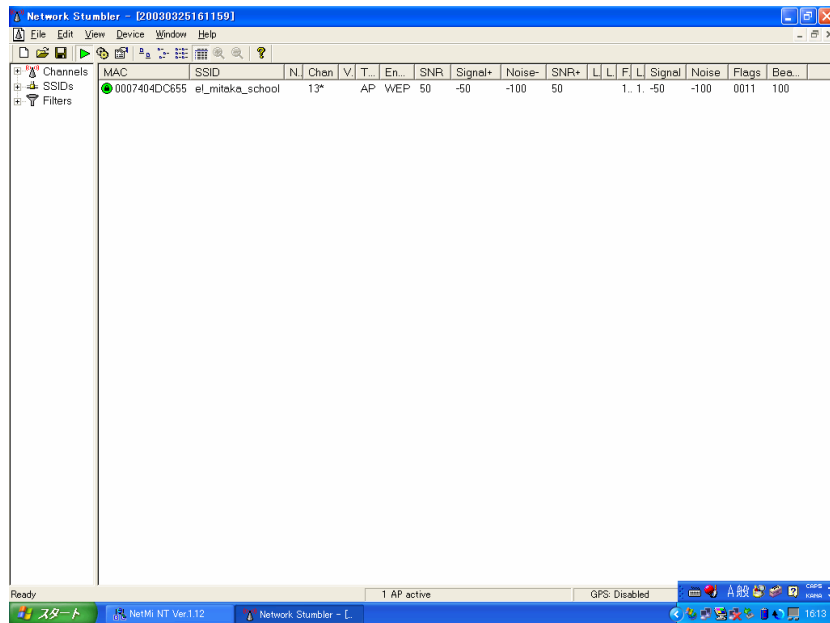


図 3.2. 24 検証 No. 1:PC1 付近での電波状況

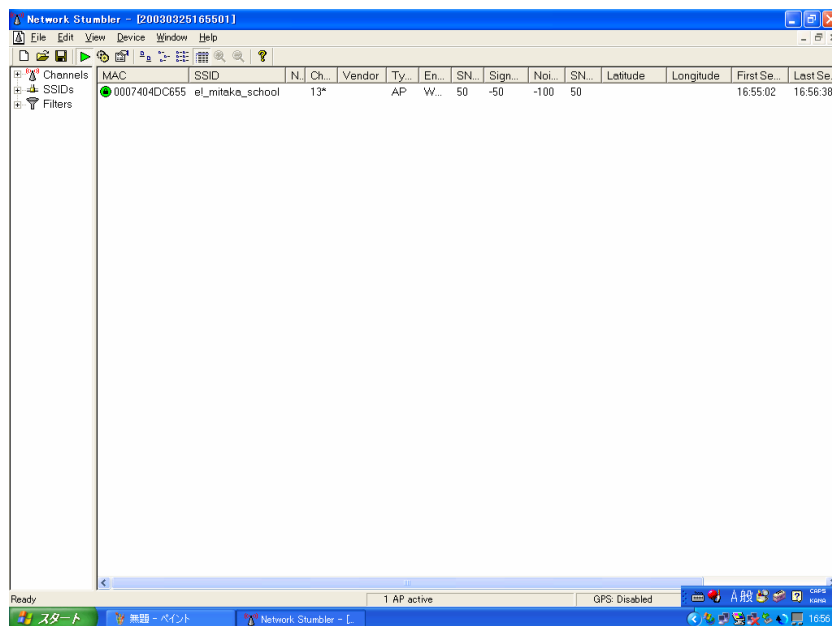


図 3.2. 25 検証 No. 2:PC1 付近での電波状況

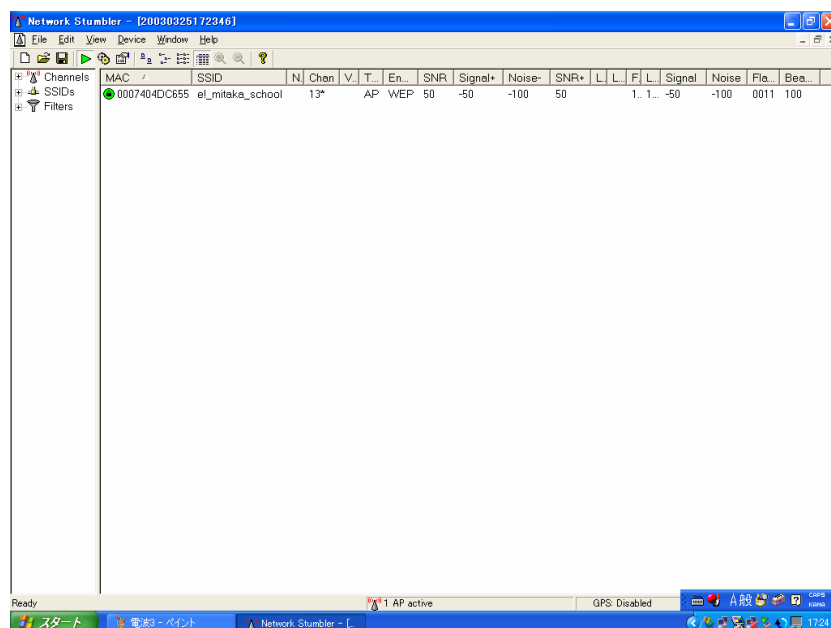


図 3.2. 26 検証 No. 3:PC1 付近での電波状況

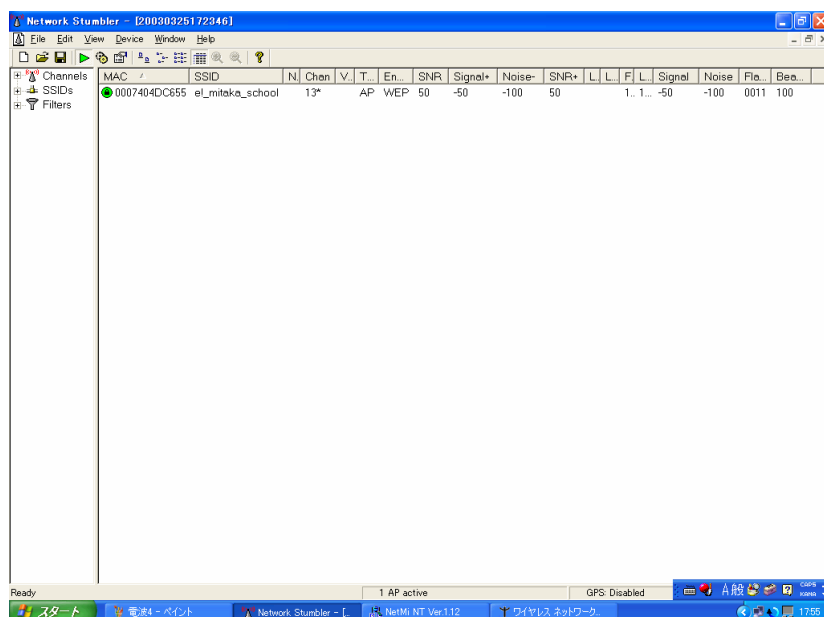


図 3.2. 27 検証 No. 4:PC1 付近での電波状況

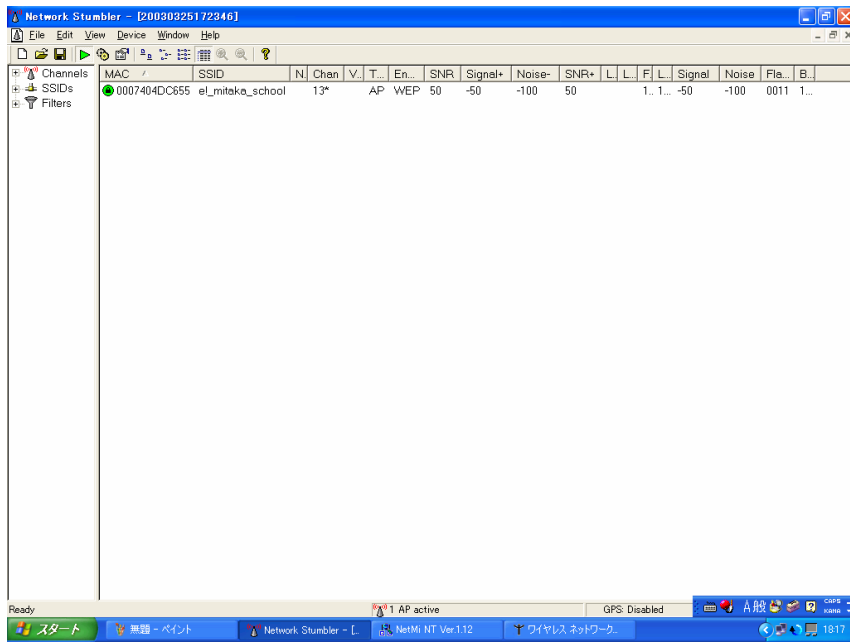


図 3.2. 28 検証 No. 5:PC1 付近での電波状況

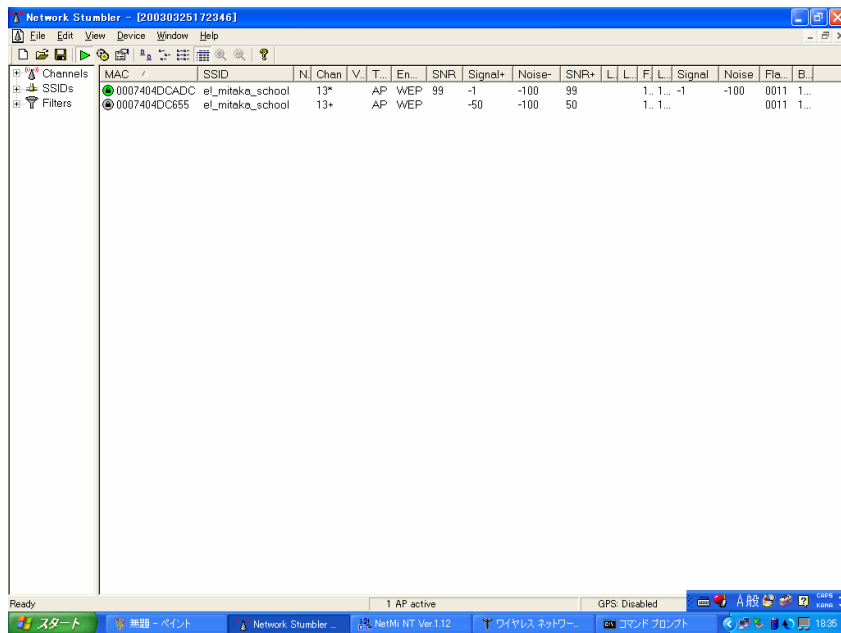


図 3.2. 29 検証 No. 6:PC1 付近での電波状況



図 3.2. 30 検証 No. 1:通信状態



図 3.2. 31 検証 No. 2:通信状態



図 3.2. 32 検証 No. 3:通信状態



図 3.2. 33 検証 No. 4:通信状態



図 3.2. 34 検証 No. 5:通信状態



図 3.2. 35 検証 No. 6:通信状態

3.2.3.4.2. 検証 2. 2 移動速度による通信状態

(1) 検証日時

平成 15 年 3 月 25 日

(2) 検証場所

第三小学校 3 階

(3) 検証目的

クライアントを一定速度で移動させながら、複数の無線 LAN アクセスポイントの間をローミングするかを確認。また、移動速度による通信状態の影響度合いを検証する。

(4) 検証使用機器

- AP : メルコ製 WLM2-G54
各 1ch, 5ch, 9ch, 13ch 128bit wep-key を使用
- PC : Panasonic 製 Let's note CF-R1
OS Windows XP professional
CPU Pentium3 866MHz
RAM 256MB
- 無線 LAN カード : メルコ製 WLI-CB-G54

(5) 検証使用アプリケーション

- Windows Media Player Version9
「IPv6 ストリーミング映像」(<http://contents.pr.v6pc.jp>) (300kbps) を視聴

(6) 検証評価方法

図 3.2. 36 第三小学校 3 階の移動経路のように、矢印（破線）のように 5 年 3 組から 6 年 3 組へ移動しながら Windows Media Player Version9 を用いて、「IPv6 ストリーミング映像」(<http://contents.pr.v6pc.jp>) (300kbps) を視聴し通信状態を確認した。

移動の速度は

- ① 通常の歩行 (約 4km/h)
- ② 早歩き (約 6km/h)

の 2 通りで移動をおこなった。

それ以上の移動速度、例えば車両等による移動については、今回のアクセスポイントから発せられる電波の有効範囲の大きさ、半径 15m 程度（教室 2 クラス分）から考えて、クライアント PC が無線アクセスポイントの発する電波の有効半径を通過する時間と、無線アクセスポイントとクライアント PC との接続が切れて次の無線アクセスポイントとのアソシエーションにかかる時間（数秒間以上）を比べてみてクライアント PC がアクセスポイントから発せられる無線の有効範囲を通過する時間をはるかに小さいため、特に測定する必要はないと考えられる。

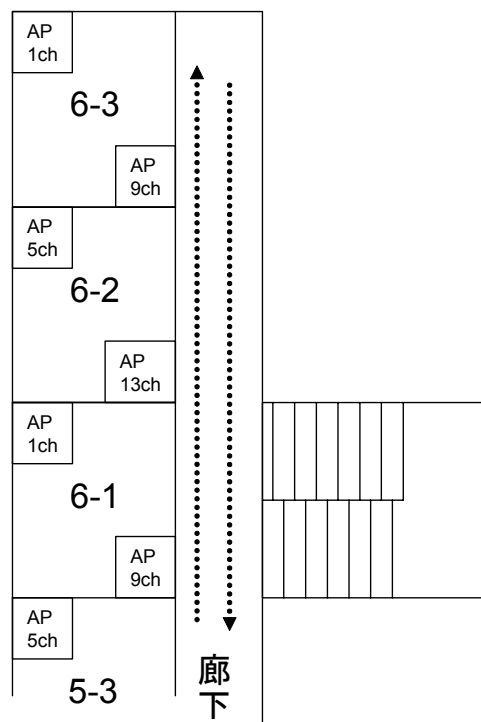


図 3. 2. 36 第三小学校 3 階の移動経路

(7) 測定結果

① 通常の歩行（約 4km/h）

クライアントから接続しているアクセスポイントが変わっても正常にローミングされ、問題なくストリーミング映像が視聴できた。

② 早歩き（約 6km/h）

クライアントから接続しているアクセスポイントが変わっても正常にローミングされ、問題なくストリーミング映像が視聴できた。

3.2.3.5. 検証結果

(1) 同一チャンネルエリアにある無線基地局のパフォーマンスの確認

同一チャンネルエリアにある無線 LAN アクセスポイントは、お互いの使用する周波数帯が干渉しあいスループット等のパフォーマンスを下げる。「3.2.2 電波指向性と実証フィールドの適用領域の検討と評価」と検証 2.1 同一チャンネルエリアにおける干渉の検証 No.1～検証 No.6 を比較して、通常時は 14.860Mbps (TCP/1460Byte) のスループットであったが、検証 No.3 のように隣接した教室に同じチャンネルの無線 LAN アクセスポイントを設置すると、スループットが 7.53Mbps(TCP/1460Byte)になり、ほぼ半減してしまっている。検証 No.2 の場合スループットは 14.73Mbps (TCP/1460Byte) と、干渉による影響はほとんど見られなかった。

(2) 測定器による電波状態の確認

図 3.2.24 検証 No.1:PC1 付近での電波状況から図 3.2.29 検証 No.6:PC1 付近での電波状況電波状態が確認することができた。

(3) クライアントから見た通信状態の確認

図 3.2.30 検証 No.1:通信状態から図 3.2.35 検証 No.6:通信状態のとおりクライアントから見た通信状態を確認することができた。

(4) 様々な場所に設置した場合での変化要因の確認

無線 LAN アクセスポイントを様々な場所に設置した時に無線 LAN アクセスポイント同士が干渉を起し、スループットの減少などのパフォーマンスに影響した。その影響度合いは表 3.2.4 干渉波によるスループットの影響にもあるとおり隣接する教室に同一チャンネルのアクセスポイントを設置するとスループットが約半分にまで落ちてしまう。

(5) クライアントを継続的に移動させて場合の通信状況の確認

クライアントを継続して移動させた場合、無線 LAN アクセスポイント同士の自動ローミング機能により、クライアントをローミングし通信が途絶えることはなかった。

3.2.3.6. 考察

3.2.3.6.1. 干渉と帯域設計

2.4GHz 帯 IEEE802.11g (ドラフト) の無線 LAN には 1～13 のチャンネルがあるが、電波の波の性質として周波数の近い波同士は干渉を発生する。干渉が発生するとスループットの低下が見られてしまうため、無線 LAN のアクセスポイント同士はなるべく距離を離すかチャンネル同士を離す必要がある。しかし、無線 LAN アクセスポイント同士

の距離を離そうとすると、各無線 LAN アクセスポイントが 1 台あたり供給できる帯域は限られているので、接続するクライアントの数が増加すると 1 クライアントあたりのスループットが低下してしまう恐れがある。無線 LAN アクセスポイントのセルの大きさを超えてクライアント PC が離れてしまうと無線 LAN アクセスポイントに接続できないクライアント PC が生じる。無線 LAN 環境を設計する場合には、利用場所をセルで覆ってしまうだけでなく、無線 LAN アクセスポイント同士の干渉によるスループットの低下と、エリア内に設置する無線 LAN アクセスポイントから供給されるトータル帯域のトレードオフの関係を考慮しながら、無線 LAN 環境を設計・構築する必要がある。

3.2.3.6.2. 教室内の無線 LAN 環境の設計

今回の場合、1 教室あたりのクライアント数が 30～40 台で、無線 LAN の使用状況は主に web ベースのドリル型学習コンテンツ「ポケッツ 2」や一般的な web の閲覧で、特別に大きなファイルをダウンロードするようなことはないので、Windows OS によって「ポケッツ 2」を使用した時のネットワーク状況について調査してみたところ、クライアントがアクションを起こした時だけ 200kbps 程度のトラフィックが生じていた。その結果より、各教室全体で生じる最大のトラフィックを 6～8Mbps と考えて、そこに無線特有の管理パケット等の分も考慮し、1 教室あたりの帯域設計をおこなった。その結果、1 教室あたり 10Mbps の帯域は必要だと考え、検証 No. 1 のように、同じチャネルの無線 LAN アクセスポイントは 2 クラス分空け、各教室に 2 個ずつ無線 LAN アクセスポイントを設置することに決定した。そのため 1～13ch から 1, 9, 5, 13ch の順に 4ch を使用して、周期的に設定していった。

3.2.3.6.3. 結論

結論として、無線 LAN アクセスポイントはハブと同じように考えられるので、多くの無線 LAN アクセスポイントを設置すれば、そのエリアでは大きな帯域を利用できるが、周波数帯の近い無線 LAN アクセスポイント同士は互いに干渉を引き起こし、それらの帯域は激しく減少してしまう。このため、無線 LAN 環境を構築する上で重要なのは、そのエリアでクライアント全体から必要とされる帯域を計算し、同一のチャネルの無線 LAN アクセスポイント同士がどれだけの距離にあるとどれだけの最大スループットを示すのかを計測し、最良のチャネル構成と無線 LAN アクセスポイント同士の距離や設置場所を考え、帯域設計をする必要がある。

また、ローミングについて、WLM2-G54 は自動ローミング機能が搭載し、ローミングを行ったが、異なるサブネットの無線 LAN アクセスポイントにアソシエーションすると IP アドレスも変わってしまうので、リアルタイム系のアプリケーションを使用する際には無線 LAN アクセスポイントの設置環境に加えて、アドレス設計も考慮に入れなくてはならない。

3.2.3.6.4. 今後の課題

現在、一般にも広く普及し始めている IEEE802.11g 規格や IEEE802.11a 規格では、その電波をキャプチャしたり、計測ができるツールが存在しているが、今回の IEEE802.11g (ドラフト) 規格の無線 LAN は 2003 年 1 月に製品化が始まり、正式に規格が採択されるのが 2003 年夏頃と言われているため、電波状況を効果的に測定できるツールが非常に少ない。そのため、Net Miなどで電波の上を通ってくる Packet 等を測定することで対応した。実際に構築にあたり、各地点でスループットを測定していくのは時間的にも人員のリソースも膨大に費やしてしまいます。また、適切に無線 LAN 環境の構築するためには、無線 LAN アクセスポイントの電波到達範囲や電波強度について、実際に導入する現場において詳細に検証をおこなう必要がある。より簡易に IEEE802.11g 規格の無線 LAN 環境を構築するためには、IEEE802.11g 規格に対応している電波状態等の電波情報を詳細に検証できるツール等が必要になる。来年度以降は、それらの IEEE802.11g 規格やその他の高速無線 LAN 規格に対応しているような電波検証ツールを用いた効果的な無線 LAN 環境の構築が検証すべきテーマのひとつと言える。