

## 大学構内における高速無線 LAN の基地局設置法に関する検討

諏訪敬祐<sup>†</sup> 彭皓<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 武蔵工業大学 環境情報学部 <sup>††</sup> NTT アドバンステクノロジー株式会社

大学構内において既存の規格から新たな規格の無線 LAN へ移行するときの無線 LAN システムの性能向上と基地局設置コスト削減を目標として、複数の無線 LAN 規格 (IEEE802.11b, g (2.4GHz 帯), IEEE802.11a (5.2GHz 帯)) に対応する無線 LAN アクセスポイント (以下, 基地局) を用いた電波伝搬実験を行った。大学構内における無線 LAN システムの基地局設置方法, スループットの高速化について利用環境及び伝搬実験結果から検討, 考察した。既存の規格から新たな規格の無線 LAN へ移行するときの基地局設置条件, 各基地局のチャンネル割当てを明らかにし, 基地局設置数の削減, 平均スループットの大幅な向上を実現した。

### Study on Positioning Design Method of High Speed Wireless LAN Access Points in the Campus Environments

Keisuke SUWA<sup>†</sup> and Hao PENG<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Musashi Institute of Technology <sup>††</sup> NTT Advanced Technology Corporation

The experiment on measuring the indoor radio wave propagation characteristics by using the wireless LAN access points of the IEEE802.11b,g (2.4GHz) and the IEEE802.11a (5.2GHz) was conducted in the campus premises to aim at the cost reduction and the efficiency improvement of wireless LAN (WLAN) systems. The authors propose the installation methods and the channel allocation for the new standard (11g) WLAN access points based on users' environment and indoor propagation experiments. It was clarified that the remarkable improvement of area coverage rate, the average throughput performances of 11g compared to the existing standard (11b).

#### 1. はじめに

様々なサービスが受けられるユビキタス社会という言葉が近年では頻繁に耳にする。あらゆるものにコンピュータが組み込まれ、インターネット端末となり、いつでも、どこでも、誰でも、どのようにでもアクセスできるようになる。こうした中で、ネットワークトポロジーの制約が少なく、利便性が高いことから無線 LAN の導入が進んでいる。また、無線 LAN は、有線 LAN に比べ新しい技術であり、かつ未だに技術革新が激しいために、頻繁に新たな通信規格が制定され、通信速度と通信プロ

トコルには様々なものがある。無線 LAN の規格は、現在は主に 2.4GHz 帯の IEEE 802.11b (以下 11b) 及び IEEE 802.11g (以下 11g), 5.2GHz 帯の IEEE 802.11a (以下 11a) が実用化されている<sup>[1]-[3]</sup>。しかし、現在普及している 11b の規格では、低速なスループット、干渉及びセキュリティ等の問題を抱えている。大容量の動画をリアルタイムに配信するためには、スループット特性が高速な無線 LAN を導入する必要がある。

大学の無線 LAN の利用者の多くは PC などの端末に最も普及している 11b 対応の無線 LAN

カードを使用していることが多い。このため、カードを更新することなく新しい規格の無線 LAN 基地局を設置した場合にも従来と同様にサービスの利便性を損なうことなく、継続して利用できることが望ましい。大学などの比較的規模の小さい構内について低速な 11b から高速の規格である 11a, 11g へ移行する場合は、11b の基地局の設置条件、電波伝搬条件及びサービス条件を考慮する必要がある。従来は、これらの条件を考慮した新規規格の無線 LAN のシステム設計法(コスト削減に有効な基地局の設置方法, エリア評価, 干渉評価等)については十分な検討は行われていない<sup>[4]</sup>。

以上の背景をもとに本稿では、ユーザの利便性を考慮して上記の課題を解決する具体的な基地局設置法を提案し、武蔵工業大学構内での電波伝搬実験により検証を行う。対象とする無線 LAN の規格は従来規格の 11b の端末と 11a の基地局とは互いにアクセスができないので、11b 端末と通信ができる 11g について検討を行う。11g 基地局は第 2 章で述べるように 11b, 11g の両規格に対応している。これを設置すれば 11b のみならず、11b, 11g 両方式に対応する無線 LAN カードを実装した端末も利用可能である<sup>[5]</sup>。

## 2. 無線 LAN の規格

無線 LAN は現在、表 1 に示すように主に 3 種類の規格が利用されている。それぞれの規格の特徴は表に示すとおりである。

比較的安価にシステム構築が可能な無線 LAN は最大伝送速度 11Mbit/s の 11b である。11b の使用周波帯の 2.4GHz 帯は多くの電子機器が使用するので、11b は、雑音や干渉の影響を受けやすく、これらによる影響により伝送速度が大幅に低下することになる。

一方、11a は干渉や雑音の影響の少ない 5.2GHz 帯を使用し、変調方式は OFDM(直交周波数分割多重)、伝送速度は最大 54Mbit/s である。しかし、使用周波数が高いために 2.4GHz 帯に比べると伝搬距離が短く、障害物の影響を受

表 1 無線 LAN の規格

規格	IEEE802.11b (1999年制定)	IEEE802.11a (1999年制定)	IEEE802.11g (2003年制定)
周波数帯	2.4GHz	5.2GHz	2.4GHz
伝送速度	11Mbit/s	54Mbit/s	54Mbit/s
実効速度	約5Mbit/s～ 6Mbit/s	約20Mbit/s	約20Mbit/s(11bと 混在させると低下)
電波の干渉 の影響	有り(Bluetoothや 電子レンジの 電磁波)	無し	有り(Bluetoothや 電子レンジの 電磁波)
同時使用可能な 最大チャンネル数	4	4	3
電波到達距離 (見通し内)	約100m(屋内) 約200m(屋外)	約100m (屋内のみ)	約100m(屋内) 約200m(屋外)

けやすいという欠点がある<sup>[6],[7]</sup>。

11g は、11b と同じ 2.4GHz 帯を利用するものの伝送速度が 54Mbit/s と高速の規格である。11g は 5.2GHz 帯を利用する 11a に比較し、波長が長いこと障害物の縁に廻りこんで届くため、伝搬距離が長いという特徴がある。その一方で 11g が使用する 2.4GHz 帯は 11b や電子レンジなど多くの電子機器が使用するため、干渉の影響を受けやすい欠点がある。11g では、図 1 のように 2 つの利用モードがある。図 1 (a) は 11g 対応の基地局と 11g 端末とが通信を行う専用モードである。図 1 (b) は 11b 端末との互換性があり、11b 及び 11g 端末と通信が可能な共存モードである。図 1 (a) の場合、11g 基地局と 11g 端末は OFDM 統一モードとよばれる全てのデータを OFDM 変調して伝送するためスループットは最大 30Mbit/s 程度得られる。これに

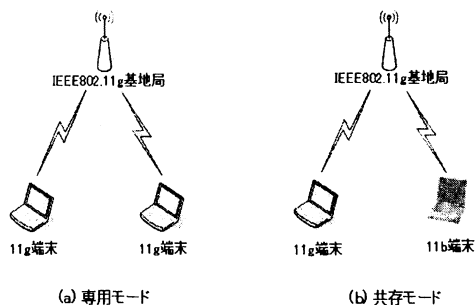


図 1 IEEE802.11g の利用モード

対し、図1(b)の場合、11b端末と11g端末が共存して11g基地局と通信を行うため、11g端末はデータ信号に送信時間情報を記載したCTS(clear to send)フレームを設けて、これを送信し、11b端末はCTSフレームを受信してその時間だけ送信を待機する。その後、11bが送信を行う。図1(a)の専用モードに比較し、CTSフレームを付加するためにスループットは低下し、最大18Mbit/s程度となる。

### 3. 基地局設置方法の検討手順

既存の無線LAN基地局が配置された環境下において、新規の無線LANシステムを構築する場合の設計フローを図2に示す。

環境条件として、利用する場所の広さ、部屋のレイアウト、利用形態などを調査する。また、利用者の人数、利用頻度、利用時間、利用するアプリケーション、セキュリティ状況を明らかにする。さらに、電波干渉を与える機器が付近にあるかどうかについても留意する。

次に、現行の規格である11bの基地局の設置場所、基地局数、使用無線チャンネルを明らかにする。また、既存基地局が配置されている状況下における各教室、廊下の受信レベル特性、スループット特性を明らかにし、利用条件を確認

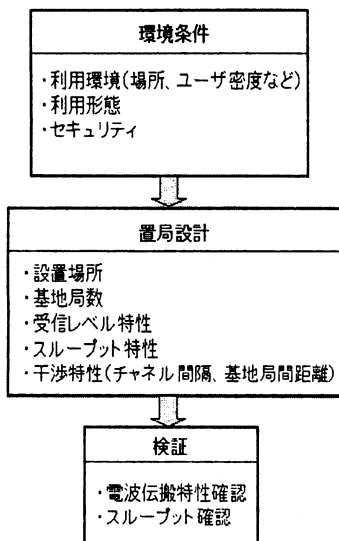


図2 基地局設置の設計フロー

する。干渉特性についても測定する。このように現行基地局を用いた電波伝搬実験結果から、削減可能な基地局数、スループット高速化のための11g基地局の設置位置を定める。また、干渉の影響が少ない基地局チャンネル間隔を検討し、基地局のチャンネル配置を決定する。

最後に、新規の11g基地局を配置したときについて電波伝搬実験(サイトサーベイ)を実施し、基地局設置の設計結果が妥当であるか検証を行う。

### 4. 実験概要

本研究における測定は、本学の教室において、図3に示す実験系で実施した。表2に実験条件を示す。

実験手順は、教室内に測定ポイント(2m間隔)を設け、各ポイントにおける移動局での受信レベル及びスループットを計測する。まず、教室内において既存の11bの受信レベル、スループットを測定したうえで、教室、廊下に11gの基地局を設置して11bと同様に上記データを取得する。測定は、測定ポイント毎に自分の位置が表示されているマップ上の現地にカーソルを合わせてクリックし、測定ポイント毎にデータを記録して行う。次に、無線LAN測定ツールにより測定した受信レベルのデータをマップ上に色分けして表示する<sup>[8]</sup>。

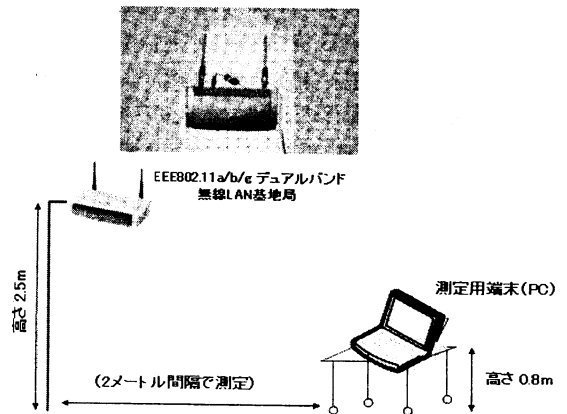


図3 実験系

表 2 実験条件

項目	実験条件
基地局モード	11a(5.2GHz), 11b(2.4GHz), 11g(2.4GHz: 11g単独接続/11bとの相互接続)
基地局送信出力	63mW(18dBm)
基地局アンテナ高	2.5m
移動局測定用 カード	AirMagnet Laptop Trio用 無線LANカード(11a, 11b, 11g 3規格対応)
移動局アンテナ高	0.8m

複数の基地局を設置する場合、互いの基地局の無線チャンネルが同じまたは、隣接するときは電波がオーバーラップするエリアでは、干渉により、スループットが低下する。本稿では、電波干渉に影響する要因として、基地局間のチャンネル間隔に対するスループットについて測定用基地局と干渉用基地局のチャンネル間隔をパラメータとしてスループット特性を明らかにする。

## 5. 基地局設置とチャンネル配置

### 5.1 基地局設置

まず、現行方式(11b)の電波状況を確認するため、無線LAN測定ツールを使用して各教室の電波状態を測定する。次に、11a, b, g の3つの規格に対応したデュアルバンド無線基地局を実験的に設置する。教室など通信品質の不良なエリアの不感対策としては、廊下側の基地局を教室と廊下境界の仕切り窓(ガラス窓)付近に設置し、廊下側の電波が教室へも浸透するようにして受信状況を改善する。

さらに、現行方式の基地局の内蔵無線カードが入れ替え可能なものは11bの無線カードから11gの無線カードに入れ替えることにより11b利用者もアクセスできる共存モードを実現する。

### 5.2 チャンネル配置

無線LANのユーザ密度が比較的高いエリアでは、複数の基地局を設置して使用可能なチャ

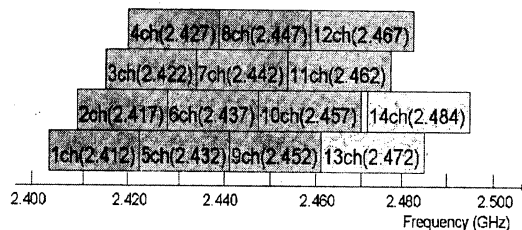


図 4 2.4GHz 帯無線 LAN のチャンネル配置

ネル数を確保する必要がある。2.4GHz帯の11bと11gの電波は11aの5.2GHz帯の電波に比較し、電波は遠方まで届く。従って、基地局エリアがオーバーラップする割合が増加し、重なったエリアでは干渉を生じやすい。

図4は日本のIEEE802.11b, 11gの2.4GHz帯におけるチャンネルマッピングである。日本国内では、2.412GHzから5MHzおきに第1チャンネルから、第14チャンネルまでが利用できる。1チャンネルあたりの占有周波数帯域幅は22MHzである。現在、大学構内で利用しているチャンネルの組み合わせは、主に1, 6, 11chである。しかし、実際には、同一フロアでは、上記3つのチャンネルの中の同一チャンネルが複数使用されている。このため利用する電波ができるだけ干渉しないようにチャンネル配置を行うためには、使用するチャンネル数を4つ以上とすることが望ましい。図4から等間隔のチャンネル配置では、最初のチャンネルを第1ch、チャンネル間隔を最大4ch分とすると使用可能なチャンネル数は4つとなる。従って、新規基地局のチャンネル配置では、各チャンネルの間隔を4ch分とするチャンネル配置を提案する。新規の無線LAN基地局のチャンネル配置は順番に1, 5, 9, 13chとなる。

## 6. 実験結果と考察

### 6.1 既存基地局配置における受信レベル特性と干渉特性

既存基地局による2階の受信レベル分布を図5に示す。エレベータコーナ、階段付近および複数の教室において受信レベルの低いエリ

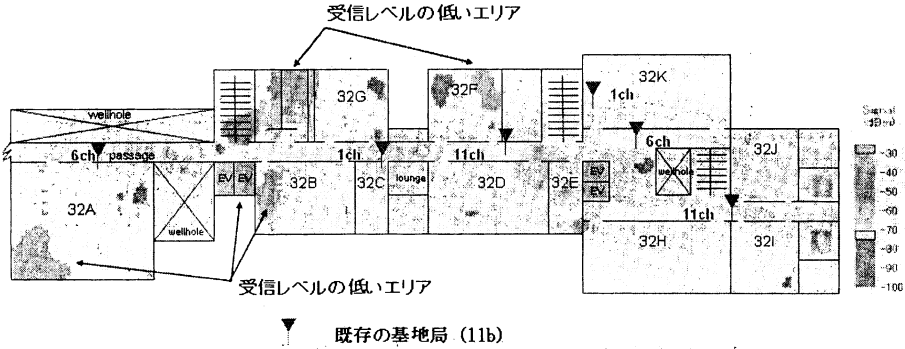


図5 既存基地局における受信レベル分布 (2階)

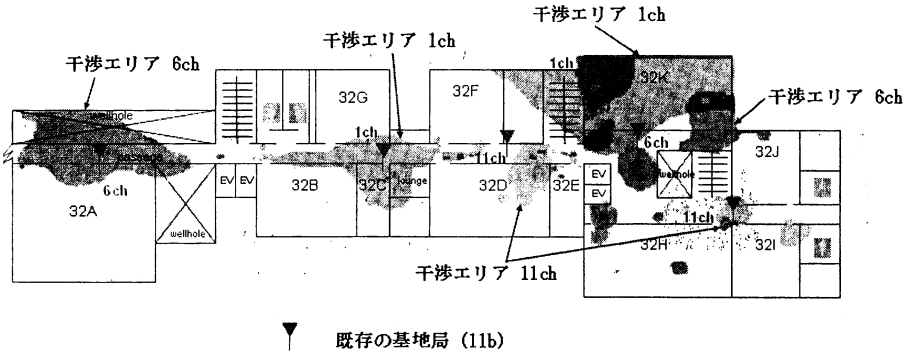


図6 既存基地局における干渉レベル分布 (2階)

アが存在することがわかる。また、図6は既存基地局による2階の干渉レベル分布である。2階には6つ基地局が設置されているが、使用チャネル数は3つであるため、3つの基地局が同一チャネルを使用することになる。図から同一フロア内の干渉と階段通路からの1階及び3階からの干渉の影響が大きいことがわかる。チャネル数が限られているので、干渉の影響が低減されるようにできるだけ少ない基地局数でできるだけ広範にエリアを確保できるように基地局の設置方法を工夫する必要がある。

**6.2 具体的な基地局設置とチャネル配置例**

6.1の結果から11g規格による高速無線LAN基地局を新たに設置するにあたり、既存基地局の設置数を削減することによる干渉の低減と基地局の新規設置による低受信レベルエリアの解消のために図7に示すように既設の11b無線LAN基地局の撤去と11g基地局の新規設置

を行った。さらに、スループットの高速化を実現するため基地局の内蔵無線カードが交換可能なものは無線カードを11b専用から11bと11gの両方にアクセスできる共存モードの無線カードに置換えた。また、図の\*で示す廊下側の基地局は図8のように教室入り口に設けられている廊下と教室の境界のガラス窓付近に設置した。これにより、基地局のアンテナ指向性が無指向性とすればガラス窓をとおして1つの基地局で廊下と教室の両方のエリアをカバーすることができる。

**6.3 11g 基地局配置における特性の検証**

**6.3.1 受信レベル特性**

高速伝送が可能な11gの基地局を2階に設置したときの受信レベル分布を図9に示す。図5と比較すると、受信レベルの低いエリアの割合が減少していることがわかる。基地局数は2階について6つから4つとなり、削減率は33%

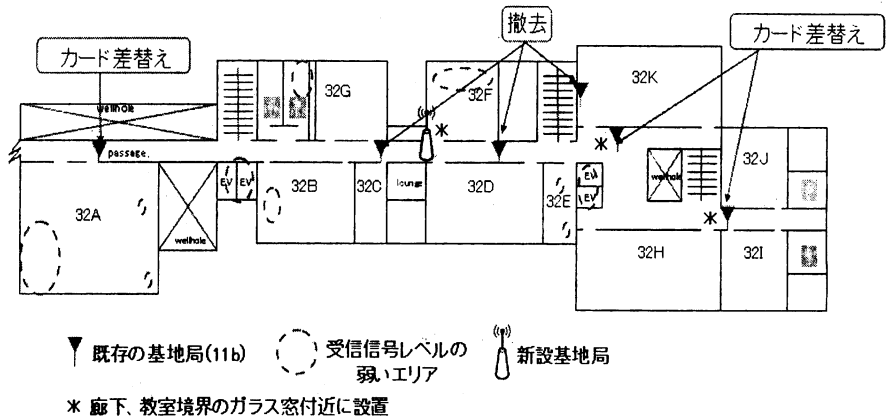


図7 高速無線 LAN(11g)の基地局設置 (2階)

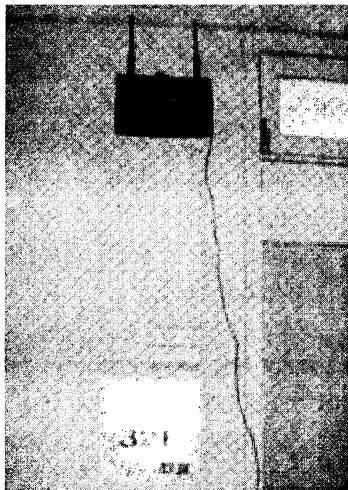


図8 11g 基地局の設置例

である。基地局設置場所を工夫し、適切に配置すれば、少ない基地局数で広いエリアを構成できることがわかる。

### 6.3.2 スループット特性

11g 基地局を設置したときの2階の各教室におけるスループットの測定結果を図10に示す。受信レベルの低い32Gの教室においても平均7Mbit/s以上のスループットが得られることがわかる。32Aのような大規模教室では、教室内に基地局を設置しているので、20Mbit/s前後のスループットが得られている。

表3は各教室でのスループットの実測結果をもとに各教室の11bの平均スループットに対する11gの単独モード(11g専用)及び共存モード(11b, 11g通信可能)の平均スループットの比率を各々示したものである。

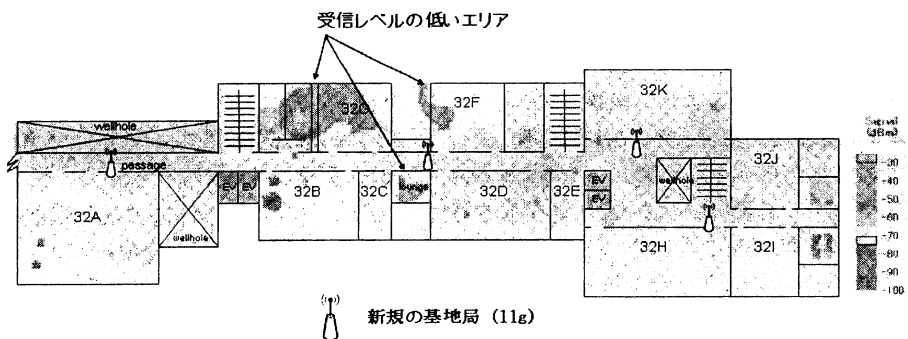


図9 新規基地局(11g)における受信レベル分布 (2階)

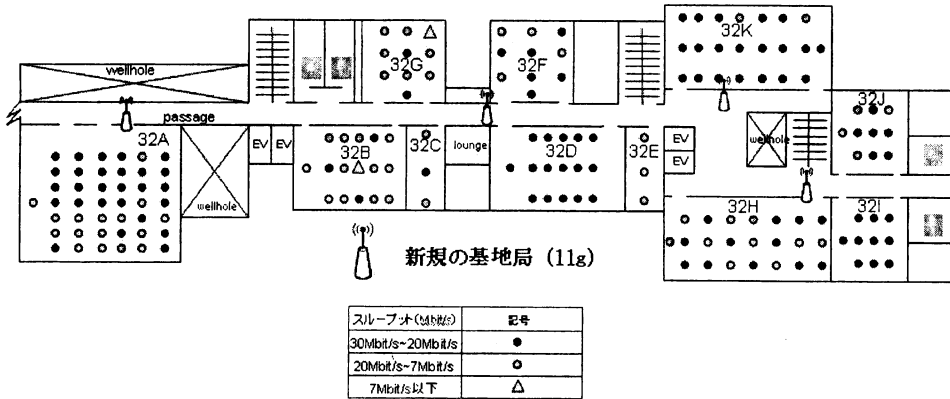


図 10 新規基地局(11g)におけるスループット分布 (2階)

表 3 従来規格のスループットに対する高速化の比率

教室	通信モード		従来規格(11b)平均スループット(Mbit/s)
	単独モード(11g)	共存モード(11b/g)	
32A	3.44	3.47	6.10
32B	2.62	2.80	5.96
32C	3.36	3.34	6.00
32D	4.02	4.06	5.85
32E	3.13	3.71	5.71
32F	3.46	3.23	6.10
32G	2.51	1.57	5.93
32H	3.93	3.72	5.06
32I	3.94	3.68	6.12
32J	3.41	2.70	6.04
32K	3.96	3.89	6.00
平均	3.43	3.29	5.90

2階全ての教室の平均で単独モードでは、3.43倍(20.2Mbit/s)、共存モードでは、3.29倍(19.4Mbit/s)となり、高速化を実現していることがわかる。

### 6.3.3 干渉特性

図 11 は測定用基地局のチャンネルを 1ch に固

定して干渉用基地局のチャンネルを 1ch から 13ch まで変えたときの測定用基地局におけるスループットである。チャンネル間隔が 1ch (干渉用基地局 2ch) のときに最も干渉の影響が大きく、スループットが最も低下する。4ch 以上あれば、最も間隔が離れたチャンネル間隔 12ch (干渉用基地局 13ch) に対しスループットの低下は 9%以下である。従って、隣接基地局とのチャンネル間隔は 5.2 で検討したように 4ch でよいことがわかる。

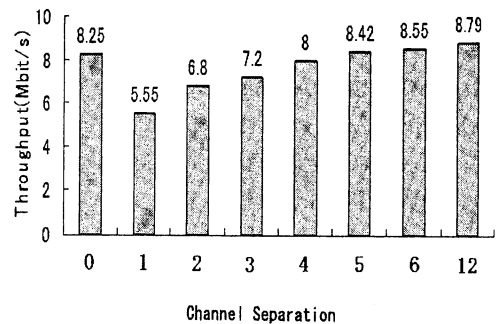


図 11 チャンネル間隔に対するスループット

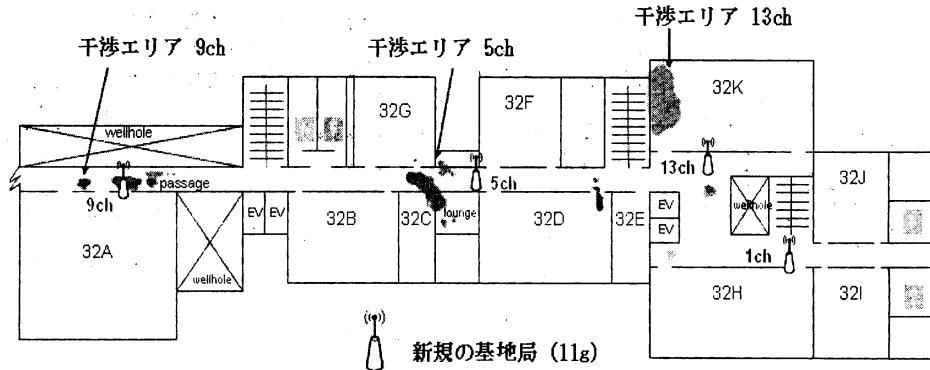


図 12 新規基地局(11g)における干渉レベル分布 (2階)

図 12 は 2 階において、チャンネル間隔 4ch として 1ch, 5ch, 9ch, 13ch を各基地局に割当て、干渉レベルを測定した分布図である。図 6 と比較し、干渉を大幅に低減できることがわかる。

## 7. おわりに

本稿では、大学構内において、従来規格の 11b 基地局から高速伝送が可能な 11g 基地局を用いたシステムへ移行する場合の基地局設置法を提案し、電波伝搬実験により検証を行った。

11g のアクセスモードは従来の 11b 利用者も使用できるように共存モードとした。新規の基地局設置においては、いくつかの基地局は廊下と教室境界のガラス窓付近に設置し、廊下と教室を一つの基地局でカバーするようにした。また、従来基地局内で蔵無線カードの差替えが可能なものは 11g の無線カードに差替えることにより、基地局全体を交換することによるコストの増加を抑えた。使用無線チャンネル数は従来の 3 チャンネルから 4 チャンネルとし、チャンネル間隔を 4 チャンネルとすることを提案した。

以上の検討により、基地局数は約 3 割低減、スループットは平均約 3 倍以上の高速化を実現した。さらに、チャンネル配置の見直しにより、同一フロア内の干渉を大幅に低減できることを明らかにした。

今後は、電波伝搬特性をもとに基地局設置法、チャンネル配置法の理論的検討を進める予定である。

## 参考文献

- [1] 松江英明, 守倉正博 監修, 802.11 高速無線 LAN 教科書, (株) IDC ジャパン, 2003 年 3 月
- [2] 松下温 監修, 重野寛, 無線 LAN 技術講座, SRC ハンドブック, 1994 年 9 月
- [3] 重安哲也, 松野浩嗣, 森永規彦, 無線 LAN 各規格の概要とプロトコル, 情報処理学会誌, Vol. 45 No. 8, pp. 793-800, 2004 年 8 月
- [4] 若林則章, 無線 LAN の実用環境における性能—各種規格の利用環境での比較—, 情報処理学会誌, Vol. 45 No. 8, pp. 806-811, 2004 年 8 月
- [5] 日経コミュニケーション, pp. 80-87, 2003 年 4 月
- [6] 進士昌明 編著, 無線通信の電波伝搬, 電子情報通信学会, 1992 年 2 月
- [7] 奥村善久, 進士昌明 監修, 移動通信の基礎, 電子通信学会, 1986 年 10 月
- [8] <http://airmagnet.com/products/wp-index.htm>