

# 大学構内における複数高速無線 LAN の 基地局設置法の研究

彭 皓 諏訪 敬祐

本研究では、複数無線 LAN が共存する場合のシステム構築の効率化とコスト削減を目的とし、無線 LAN 規格である IEEE802.11b/g (2.4GHz 帯) と IEEE802.11a (5.2GHz 帯) のデュアルバンド無線 LAN アクセスポイント (以下、基地局) を用いて大学内の体育館及び講義棟の各教室で電波伝搬実験を行った。この結果をもとに学内における無線 LAN システムの基地局設置方法、伝送速度高速化について検討した。既存の規格と新たな規格における各々のエリア評価、スループット特性を明らかにするとともにサイトサーベイから複数の無線 LAN システムが共存するときの基地局設置条件を明確化した。これにより、基地局設置数の削減、平均スループットの向上を可能とした。さらに、干渉条件について明らかにし、チャンネル割り当てについて考察した。以上の結果から、本キャンパスにおいて、快適、便利なサイバーキャンパスを実現するための高速無線 LAN システム構築に向けた指針を明確化することができた。

キーワード：IEEE802.11a/b/g, 受信レベル, スループット, サイトサーベイ, チャンネル割り当て

## 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りに耳にする。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、ネットワークポリシーの制約が少なく、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、頻り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。IEEE (米国電気電子技術者協会) によって仕様が決定され、現在は 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。しかし、現在最も普及している 11b では干渉、パフォーマンス、セキュリティ等の問題を抱えている。さらに、2.4GHz 帯の無線 LAN (11b, 11g) と 5.2GHz 帯の無線 LAN (11a) の複数システムを併用する場合のシステム設計法 (無線 LAN 基地局の設置方法, エリア評価, 干渉等) については明らかにされていない。

本研究では、これらの課題を明らかにし、解決策を提案するとともに、どのように便利で快適な無線 LAN システ

ムを構築するかについて具体的な指針を明確化することを目的とする。なお、複数無線 LAN システム構築の事例として武蔵工業大学横浜キャンパス内の体育館及び講義棟の各教室を対象とすることとした。

## 2 無線 LAN の標準規格

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 規格は最大伝送速度 11Mbit/s の 11b である。11Mbit/s という伝送速度は ADSL/CATV インターネットや一般的なデータ伝送であれば十分な値である。家庭、SOHO、小規模オフィス、そして空港やホテル、喫茶店など様々な場所で利用され、公衆無線 LAN として最も普及している無線 LAN の規格である。11b は周波数が低い (2.4GHz 帯) ため、

表 1 無線 LAN の標準規格

規格名	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する)
電波の干渉要因	あり(BluetoothやMicrowave ovenの電磁波など)	なし	あり(BluetoothやMicrowave ovenの電磁波など)
同時に使用できる最大チャンネル数	4	4	3
電波が到達可能な見通し内距離	約100m(屋内) 約200m(屋外)	約100m (屋内のみ)	約100m(屋内) 約200m(屋外)

PENG Hao

武蔵工業大学大学院環境情報学研究所修士課程

2004年度修了生

SUWA Keisuke

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科教授

電波の特性上 5.2GHz 帯よりも伝搬距離が長く、障害物の影響も受けにくいという利点がある。しかし、2.4GHz 帯は多くの電子機器が使用するので、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。また、多くのユーザで共有して利用するには、伝送速度が低いという問題がある。

同時期に標準化された無線 LAN 規格である 11a は 5.2GHz 帯を使用し、伝送速度は最大 54Mbit/s である。高い周波数帯域を使用する 11a は干渉の少ない周波数帯域でスムーズな通信が可能となる。その一方で周波数が高いために 2.4GHz 帯に比べると伝搬距離が短く、障害物の影響を受けやすいという欠点はあるが、干渉や雑音の影響の少ない領域においては、11a は安心して利用できる高速無線 LAN の規格である。

11g は、2003 年 6 月から正式に登場した。従来からある伝送速度が 11Mbit/s の 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。同じ 54Mbit/s でも 5.2GHz 帯を利用する 11a と比べて障害物に強く、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。主な用途としては障害物の多い環境で高速無線 LAN を利用したい場合が考えられる。通信方式には 11a と同様、OFDM (直交周波数分割多重) 方式を採用している。

### 3 研究の背景

現在、大学構内に導入されている無線 LAN の規格は 11b である。しかし、ユーザの密度と最もユーザに使われているアプリケーションを考慮すると、11b だけではトラヒックなどの点から能力的にみて不足であると考えられる。

現状の課題を明らかにするためより高速伝送が可能な 11a/b/g の 3 つの規格に対応し、2.4GHz 帯と 5.2GHz 帯の両方の電波を送受信できるデュアルバンド無線基地局を用いた電波伝搬実験を実施した。無線 LAN 診断ツールを使い、実際のユーザが利用すると想定される場所に基地局を設置して測定を行った。まず、無線 LAN 規格である 11b/g (2.4GHz 帯) と 11a (5.2GHz 帯) の電波伝搬特性を明らかにするために屋内の大規模空間 (以下、体育館) と中小規模空間 (以下、講義室) の 3 号館 2 階と 3 階で見通し内及び見通し外の電波伝搬測定を行った。現在運用中の無線 LAN の状態を以下に示す。

例えば、講義室の現状は、11b の基地局が 2 階に 8 箇所、3 階に 7 箇所のように多数設置されている。このためオーバーラップしているエリアが数多く存在する。エリアが重なっているため、その場所では接続が不安定になる可能性がある。また、同一フロアにおいて基地局のチャ

ネル間の干渉を考慮する必要がある。さらに、上下のフロア間では、同一チャンネルが使用されているためフロア間の干渉がある。

一方、情報コンセントが設置されていない中小講義室では無線 LAN だけしか利用できず、無線 LAN の受信状況が悪い場合は、授業用資料のダウンロードなどに支障をきたすことも考えられる。

3 号館東棟と西棟の既存基地局は無線 LAN の規格に対応したカードを差し替えてできる基地局が半数設置されている。カードの差替えにより、11b から 11a または 11g への変更が可能である。11b から 11g へのカードの差替えは半分の基地局で可能であるが、残りは差替えできず 11g へ変更する場合は基地局ごと置換えなければならない。

以上の結果から、複数の無線 LAN 規格が並存するときの高速無線 LAN システムを効率的に構築する必要があると考える。

### 4 研究の進め方

まず、はじめに、既存規格 (11b) の基地局と新規規格 (11a/g) の基地局の受信レベル特性、スループット特性の実験を行う。次に、新規基地局にチャンネルを割当てたときの干渉評価のために、新規基地局に本研究で提案するチャンネルを割当てたときの移動局 (クライアント側) の受信レベル及びスループットを測定する。

本研究の実験項目と測定手順を以下に示す。

(1) 見通し内、見通し外における 11a, 11g 受信レベル特性、スループット特性評価 (体育館、講義室)  
体育館、講義室において、基地局と移動局 (Laptop PC) 間の距離に対する受信レベル特性/スループット特性を測定する。また、面的に設置された各ポイント毎に測定を行う。

(2) 干渉エリア評価

電波のカバーエリアおよびチャンネル毎の受信レベルとスループットを色分けして図面に表示する。基地局間の干渉を防ぎ最大の伝送効率を確保するための最適チャンネル配置を検証する。

以上の実験結果に基づき、最適な基地局設置条件を明らかにするとともに、干渉を生起しないチャンネル配置と基地局間距離を明確化する。

### 5 実験系と実験手順

本研究の実験は、本学の体育館と講義室を使用し、図 1 に示す実験系で実施した。実験期間は 2003 年 12 月～

2005年1月である。

以下に、実験機材を示す。

- (1)無線 LAN 基地局：
  - 11a/b/g デュアルバンド無線 LAN 基地局 (エレコム)
- (2)無線 LAN カード
- (3)無線 LAN 管理ツール
  - AirMagnet Laptop Trio (東陽テクニカ)
- (4)ラップトップ PC

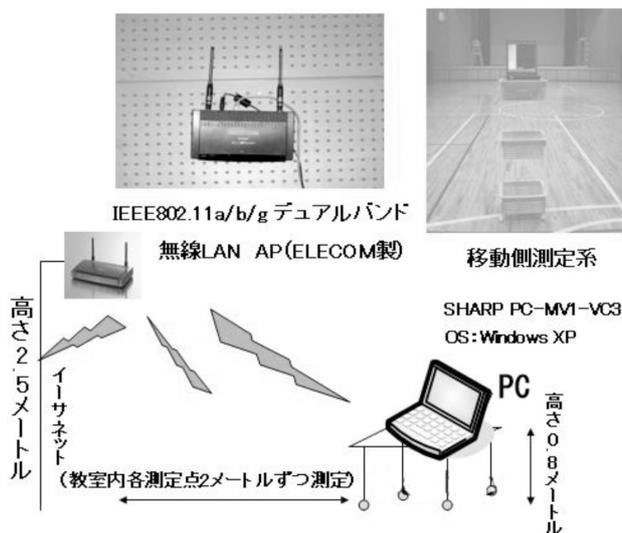


図1 実験系構成 (全体イメージ)

実験手順は、体育館と講義室内に測定ポイント (2メートル間隔) 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、体育館と講義室に設置された既存の 11b の受信レベルとスループットを把握したうえで、体育館と講義室に 11a/g の基地局を設置して上記データを取得し、信号伝送速度高速化と 11b 仕様の無線 LAN カードとの併存の条件を明らかにする。

さらに、測定端末を持ち、2m 間隔で設置されている測定ポイントと構内平面図を照合しながらフロア内を 2~4m 間隔で移動する。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、サーベイする測定ポイント毎にデータを収録する。次に、無線 LAN 管理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。

複数の基地局を設置する場合、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。本研究では、電波干渉に影響する要因として、チャンネル間隔とスループット及び基地局間隔とスループットの関係について検証する。実験では、1台の基地局のチャンネルを 1ch に固定して、他方の基地局のチャンネルを 1ch から 13ch まで変化させる。これにより、基地局のチャンネル間隔に対するスループット特性を明らかにする。また、干

渉基地局と測定用基地局の間隔を 1m~20m 程度まで変化させて距離に対するスループット特性を明らかにする。

## 6 基地局設置とチャンネル配置

ワイヤレス環境においては、所要の通信品質を確保するための最適な基地局配置設計を行うことが重要である。以下、校内無線 LAN システムの設置コスト低減、信号伝送速度高速化のための基地局設置方法に関する提案を示す。

### (1) 置局方法 1 : (体育館)

基地局を新規に設置するのに適当と考えられる場所 1 と場所 2 を決めて、実際に 2 箇所の受信レベルとスループットの測定を行う。測定結果及び、周囲環境と障害物を考慮し、ガラス窓の付近 (場所 2) を最適な配置場所と想定する。図 2 に想定される基地局設置位置を示す。

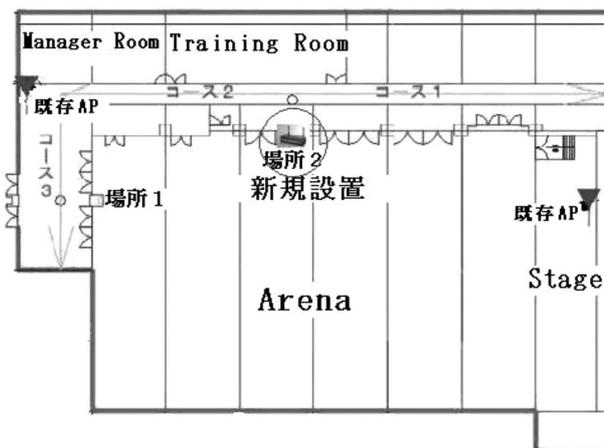


図2 体育館における基地局設置位置

高速な無線 LAN を使用することにより体育館のトレーニング室内のプラズマディスプレイに映像と音楽を配信する。しかもいつでもディスプレイから学内放送 (掲示情報)、映像、文字情報 (テロップ)、また、学校外の最新の情報の入手が可能である。体育館のアリーナに無線 LAN とプラズマディスプレイを設置すれば、試合や体育館での行事 (入学式・卒業式など) のライブ中継が行える。例えば、横浜キャンパスと世田谷キャンパスの体育館で同時に試合を行う場合、双方向の遠隔リアルタイム映像配信が可能となり、ディスプレイを通して相手の現場の情景を観ることができる。

### (2) 置局方法 2 : (講義室)

電波状況を確認するため、まず、無線 LAN サイトサー

ベイ専用ツール AirMagnet Surveyor を使用して各講義室の電波状態を測定する。次に、各方式対応の無線カードの利用状況とトラフィックを考慮して高速伝送が可能な 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 3 号館 2 階廊下の 5 箇所に設置する。また、3 号館東棟と西棟の通信品質が良くないエリアは 11g の内蔵無線カードに入れ替えできない基地局は撤去し、入替え可能な基地局については 11g のカードに入れ替えることにより混在モード (11b, 11g 両方の無線 LAN カードが使用可能) を実現する。また、工事不要な外付けアンテナを利用することにより受信レベルの低いエリアを解消することが可能になる。例えば、3 号館 2 階の 32G 講義室の最寄りの基地局からケーブルで延長した先に外付けアンテナを設置すれば、32B, 32G 講義室の受信レベルの低いフェードエリアをカバーできると考えられる。

(3) 新規無線 LAN 基地局チャンネルの割当方法：

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ン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、電波は遠くまで届く。従って、エリアがオーバーラップする割合が増加し、基地局同士の干渉を生じやすい。図 3 は日本の IEEE802.11b, 11g の 2.4GHz 帯のチャンネルマッピングである。

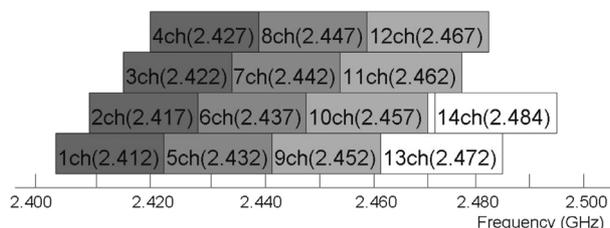


図 3 2.4GHz 帯のチャンネルマッピング

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 (日本国内)。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、一つの場所から、3 つ以上の同じチャンネル数を使っている無線 LAN の電波が検出される。このように、チャンネル配置は、複数の基地局を設置する際に、周波数競合の問題が生じる。利用する電波が干渉しないように、更に、使用するチャンネル数を 3 つから 4 つへ増加させる場合、新規の 11g の基地局のチャンネル配置は以下のように設定する必要がある。

新規の基地局のチャンネル配置の提案：

- 1, 5, 9, 13ch

このようにチャンネルを配置すれば、11g での基地局間の干渉を従来より軽減することができると考えられる。

## 7 実験結果及び考察

体育館での実験結果から、図 2 の新規基地局のアリーナと廊下の境界の窓口付近 (場所 2) に設置することによって既存の基地局を 2 個削減できることが明らかとなった。さらに、通信速度を向上できる見通しも得られた。体育館の環境で見通し内 (アリーナ) および見通し外 (廊下, トレーニング室) において受信レベル測定とスループットの測定を行った。本研究のスループットの実測はデータサイズ 1532bytes のフレームを 15 秒間転送し、そのときの転送データ量からスループットを測定した。

図 4 は体育館見通し内における 5.2GHz の 11a と 2.4GHz の 11g の通信距離に対する受信レベルの実測結果であり、実線及び点線は回帰直線である。図 4 の横軸は距離、縦軸は受信レベル (単位: dBm) である。

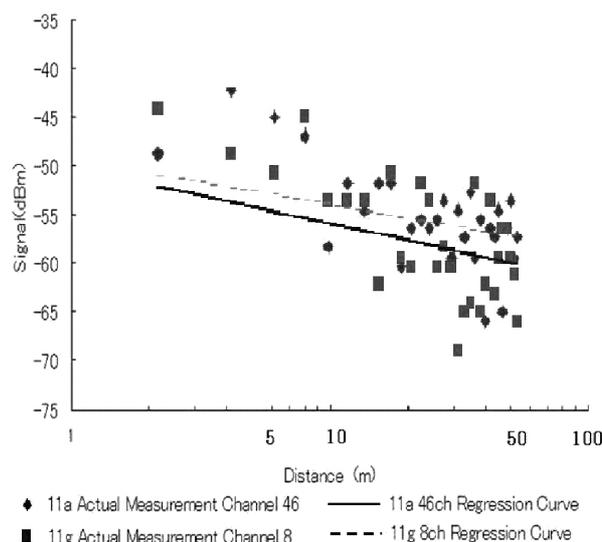


図 4 体育館見通し内における受信レベル特性

測定結果から、見通し内において、距離が 60m 以内の場合は、2.4GHz 帯の 11g の受信レベルは 5.2GHz 帯の 11a より約 5~6dB 受信レベルが高いことがわかる。

よって、周波数の低い 11g は周波数の高い 11a より遠くまで電波が届くことが明らかとなった。

図 5 は体育館見通し内における距離対スループット特性である。図の横軸は距離、縦軸はスループット (単位は Mbit/s) である。5.2GHz の 11a と 2.4GHz の 11g について回帰直線も併せて示す。

測定結果から、見通し内において、距離が 60m 以内の場合は、5.2GHz 帯の 11a のスループットは 2.4GHz 帯の 11g より約 4Mbit/s 以上高くなることがわかった。

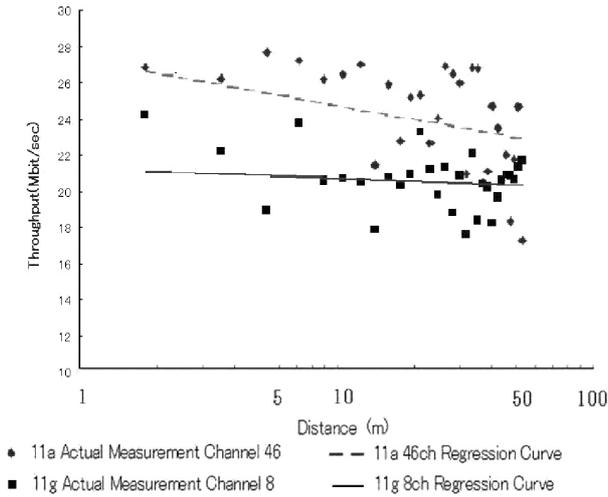


図5 体育館見通し内におけるスループット特性

周波数の高い11aの電波は直進性が強く、壁などの障害物を回り込むことができない。10m~20mぐらいからスループットが低下することがわかる。

3号館講義棟においては、エリア評価及びスループット特性の実測結果に基づく基地局の最適配置により、図6に示すように基地局数を削減することができた。

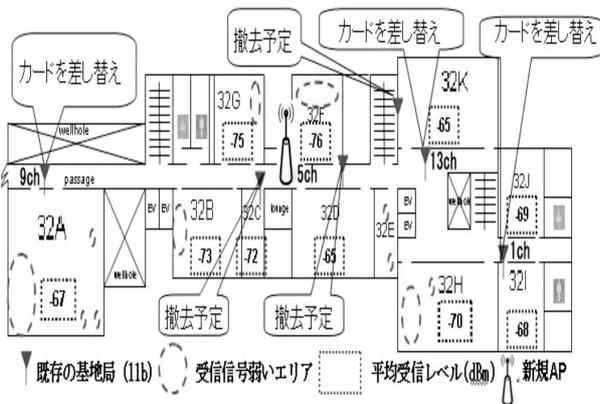


図6 講義棟2階の最適基地局配置

2階：AP数8個⇒5個（3個AP削減）  
 3階：AP数7個⇒5個（2個AP削減）  
 基地局数の削減率は33%である。

図7は3号館32A講義室における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と既存規格の基地局のスループット特性である。スループットを従来(11b)に比較し3倍以上向上できることが明らかとなった。

複数の基地局を設置する場合のチャンネル間の干渉の影響を明らかにするため基地局のチャンネル間隔に対するスループット特性を明らかにした。実験系の構成を図8

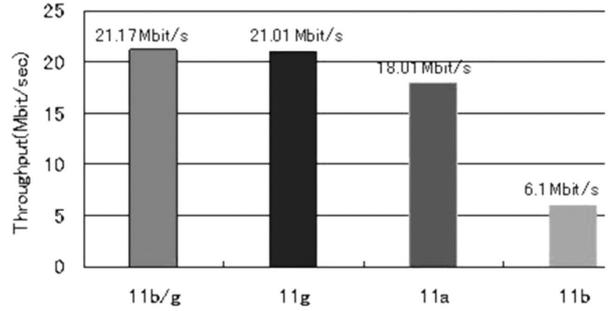


図7 3号館32A講義室におけるスループット特性

に示す。本研究では、干渉条件を設定するために2台の基地局を10mの距離離して設置し、そのうち一台の基地局を干渉源として、最大送信出力で送信する。また、測定中チャンネルを1chから13chまで変化させる。測定用の基地局のチャンネルを1chに固定して、測定用端末と連続的な通信を行う。端末から測定ツールを利用して、実行転送速度を測定した。

実験結果を図9に示す。実験結果より、隣接チャンネルで通信している場合より、同一チャンネルで通信しているときの方がスループットの低下は小さい。チャンネルを1つずつずらして使用する場合は、スループットの低下は次第に少なくなる。チャンネル間隔が4チャンネル未満では、干渉によるスループットの低下が大きいことがわかる。

複数の基地局を近接して設置する場合、有効なスループットを確保するためには、チャンネル間隔は4チャンネル以上離して設定する必要があることが分かった。

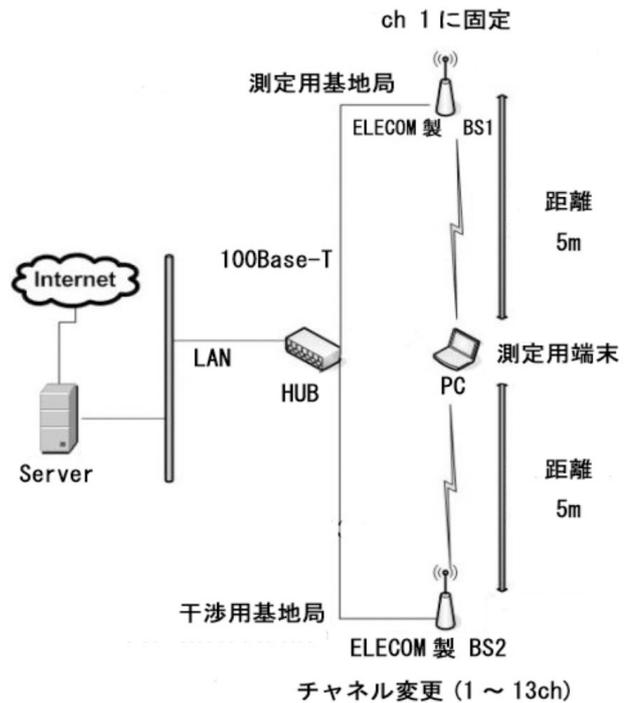


図8 チャンネル間隔の実験における構成図

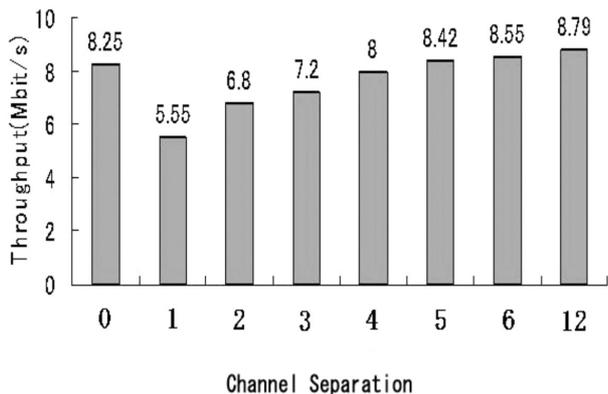


図9 チャンネル間隔とスループットの関係

基地局間隔がスループットに対してどの程度の影響を及ぼすかを明らかにするために図 10 の構成で実験を行った。干渉基地局と測定用基地局のチャンネル間隔は 1 とした。測定用の基地局と干渉用基地局の距離を 1m~24m まで変化させながら、測定端末側でスループットを計測した。実験結果を図 11 に示す。

この結果から干渉用基地局と端末の距離が 20m 以上であれば、干渉による特性劣化はほとんど見られないことがわかる。

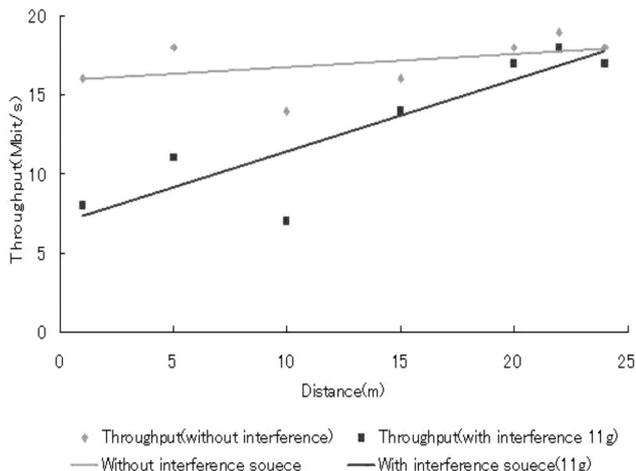


図 11 基地局間隔に対するスループット特性

特に階段の部分には上下のフロアに設置した基地局間の干渉である。また、廊下の干渉部分は、2階の同一チャンネルが使用されている基地局からの干渉と考えられる。新規の基地局を設置後、干渉エリアが減少していることがサイトサーベイの結果からわかる。

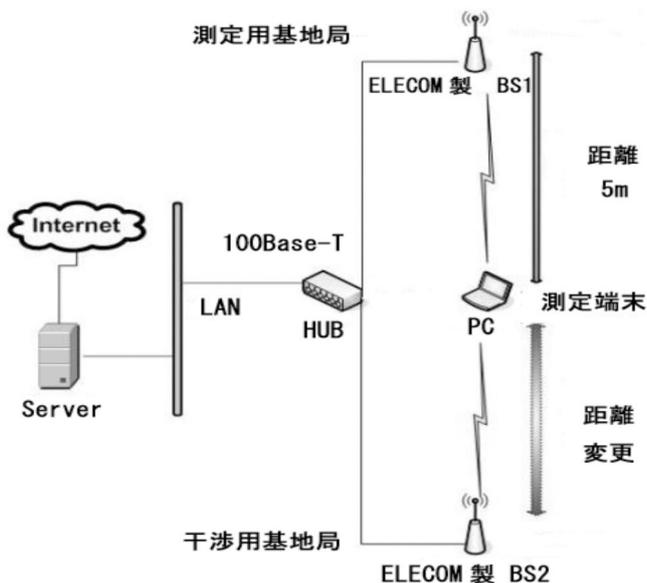


図 10 基地局間隔実験構成図

チャンネル間隔と基地局間隔の実験結果より、最小の基地局数で最大のサービスエリアを確保できる新規 11g の基地局設置場所が明らかになった。受信レベルの実測によるエリア評価により、従来の 11b 基地局設置の場合(図 12) に比較し、図 13 に示すように受信レベルの弱いエリア面積は減少していることがわかる。

図 14, 図 15 は、3 号館 2 階の既存基地局と新規基地局の干渉エリアである。色の濃いエリアは干渉エリアであ

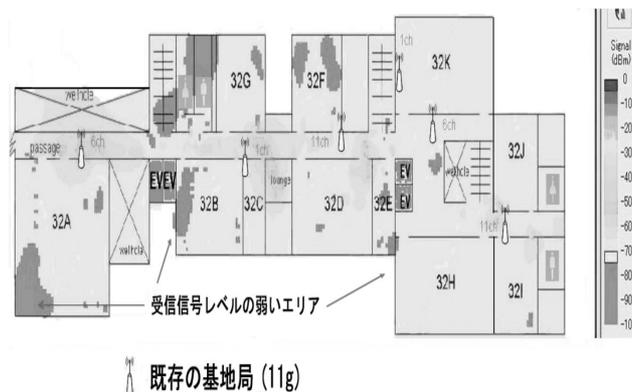


図 12 3号館2階の既存基地局設置後の受信レベル分布

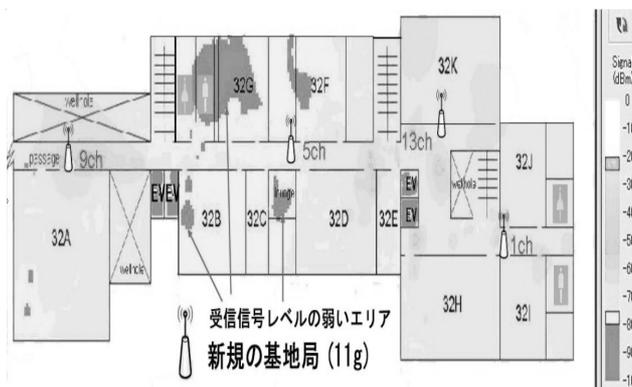


図 13 3号館2階の新規基地局設置後の受信レベル分布

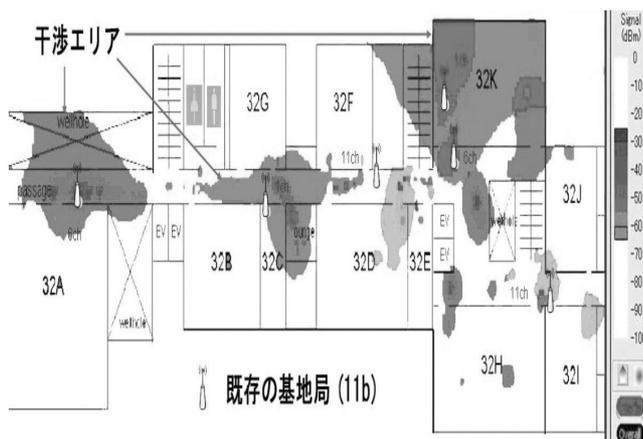


図 14 3号館2階の既存基地局の干渉エリア

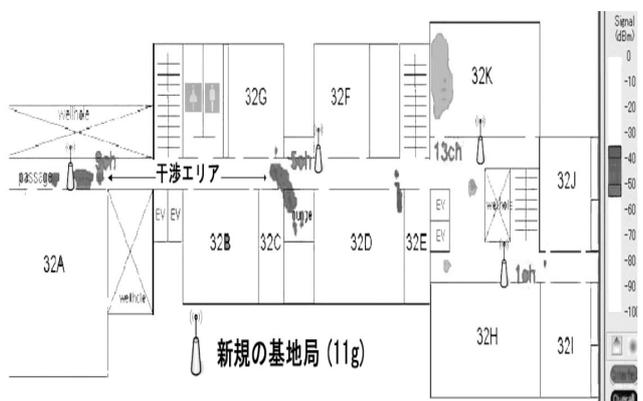


図 15 3号館2階の新規基地局の干渉エリア

以上、11a、11b及び11gのエリア評価、スループット特性の実験結果から、11gを利用する場合は、11bの基地局を混在させない環境（11g基地局だけの環境）で使用するのが効率的に一番良いと考えられる。11bの端末を11gの基地局に接続すると11gだけの端末の場合に比較し、無線LANシステム全体のパフォーマンスが低下し、11bの基地局が近くにあれば干渉の問題も考える必要がある。一方、11aはそのような干渉問題を考えずに設置できるが、11bの端末はアクセスできない。高速の無線LANシステムを導入するであれば、11gの基地局を11b、11gの端末と通信できる混在モードで設置するのが良いと思われる。

## 8 おわりに

本研究では、サイトサーベイから複数の無線LANシステムが共存するときの基地局設置条件の明確化、既存の規格と新たな規格について各々のエリア評価、スループット特性評価、干渉条件を明らかにすることにより、基地局数の削減、スループット特性の向上を可能とした。実験結果から、高速無線LAN基地局の最適配置により、基地局数を33%削減、スループットを従来に比較し3倍

以上高速化できることが確認できた。また、11gの基地局を複数設置する際のチャンネルの最適な割当方法は、チャンネル間隔に対する干渉実験によりチャンネル1、5、9、13の4チャンネルの組合せが適用可能であることを示した。

以上の検討結果から、11gの規格による無線LANを用いて、快適、便利なサイバーキャンパスを実現し、より高度なサービスが提供可能な高速無線LANシステム構築に向けた指針を明確化することができた。

今後は複雑な電波伝搬特性の解析と干渉問題の解明を進め、置局設計を様々な条件の下で計算機シミュレーション等により明らかにする予定である。

## 参考文献

- [1] 諏訪敬祐, 渥美幸雄, 山田豊通共著「情報通信概論」丸善, 2004. 6.
- [2] 進士昌明 編著「無線通信の電波伝搬」電子情報通信学会, 1992. 2.
- [3] 松江英明, 守倉正博 監修「802.11 高速無線LAN教科書」(株)IDGジャパン, 2003. 3.
- [4] 大友功, 小園茂, 熊沢弘之 共著「ワイヤレス通信工学」コロナ社, 1995. 4.
- [5] 笹岡秀一 編著「移動通信」(株)オーム社, 1998. 5.
- [6] 建築設備技術者協会 編集「ビル内情報通信システムの設計と施工」(株)オーム社, 2003. 4.
- [7] 「実オフィス環境下における企業内無線LAN環境の有効性評価」野村総合研究所 2003. 7
- [8] 立川敬二 監修「W-CDMA 移動通信方式」丸善, 2001. 6
- [9] <http://airmagnet.com/products/wp-index.htm>