

中規模講義教室における 複数無線アクセスポイント間のクライアント分布調査

三島 和宏^{†1} 櫻田 武嗣^{†1} 萩原 洋一^{†1}

無線 LAN アクセスポイントは、1 アクセスポイント当たりの想定される収容クライアント数や周辺環境に応じて、適切な置局設計を必要とする。これらの設計時には、設置する居室等の規模により想定される利用者数を考慮したアクセスポイント数での置局を行うことがある。面積規模の大きな居室では、より多くの利用者が想定され、複数のアクセスポイントの設置が必要とされるケースが多くなる。このような居室で無線 LAN アクセスシステムを運用する際には、アクセスポイント間での端末アソシエーション数の偏りがしばしば見受けられる。本学では、Cisco Systems 社製の集中管理型無線 LAN アクセスシステムを 2013 年 10 月末に導入し、学内のさまざまなエリアにおいて運用を行っている。本稿では、すでに展開している無線 LAN アクセスシステムを用い、300 人（試験時 180 人）程度収容できる比較的大きな面積を有する一般教室において、無線 LAN アクセス端末が 50 台配置された際にどのようにアクセスポイント間でアソシエーションが分布するか実際の挙動を確認し、その結果をまとめる。近年の無線 LAN によるアクセス端末の増加に伴い、今後無線 LAN アクセスシステムのさらなる増強・展開等を行っていくことが予想される。クライアントとアクセスポイントの動作を実際の教室環境にて確認する試みにより得られる知見は、今後の運用において有益なものとなると考えうる。

A Study of Client Distribution with multiple Wireless Access Points in Medium-sized Lecture Room

KAZUHIRO MISHIMA^{†1} TAKESHI SAKURADA^{†1}
YOICHI HAGIWARA^{†1}

When installing the Wireless LAN Access Point, it is necessary to consider the number of wireless clients and the surrounding environment around the access point. In the case of large-sized rooms, number of clients connected to the access point increases. Therefore, it becomes to install multiple access points as a result. In such an environment, the number of Wireless LAN Client association tends to bias. We introduced the Cisco Systems' Central-controlled Wireless LAN System in Oct. 2013, and we are operating this system. This manuscript is describing the results of the experiment that we actually observed how the association of 50 Wireless LAN Clients is distributed in large lecture room can accommodate about 300 people (180 people in test carried out). This experiment was performed using an existing Wireless LAN System. In the future, since it's necessary to further enhance and expand the Wireless LAN System, knowledge obtained by this experiment to verify the behavior of the client and the access point at the actual lecture room environment becomes useful.

1. はじめに

タブレットやスマートフォンといった携帯端末、ノートパソコンの利用などが機器の移動端末化が急速に進んでいる。近年、ユーザからの無線 LAN アクセスに対する要望も非常に強いものとなっており、無線 LAN を利用したアクセス網の充実がネットワーク運用において必須の要素となりつつある。これまで、居室等の情報コンセントなど、有線 LAN アクセス設備がよく拡充されてきたが、これに加えて、無線 LAN アクセスポイントを整備した居室というものへの要望も高まっている。これらは、研究室等の固定的に利用される居室より、講義室といった授業ごとに人が入れ替わるような居室に多く見られる。このような要望の背景には、単純な無線アクセス端末の増加に限らず、機

器の軽量化・低コスト化による、有線 LAN 接続に利用するイーサネット端子を端末上に搭載しないものが増加しているという近年の端末環境の変化も一因として考えられる。

2. 無線 LAN アクセスポイント置局設計

無線 LAN をユーザに対して提供する際には、無線 LAN アクセスポイントを、ユーザの必要とするエリアに、必要に応じた台数、置局していく必要がある。これらの置局に当たっては様々な要素を考慮した綿密な設計が不可欠である[1][2]。これらの設計を行うに当たり、密度、セルサイズ、カバレッジなどの要素が考慮される。まず、置局を行う環境に対して、どの程度の端末が利用者として見込まれるか、アクセスポイント 1 台でどの程度の端末数をカバーする必要があるか、アクセスポイント 1 台でどの程度の範囲のエリアをカバーする必要があるか、などを検討する。これにより、その環境に対して、何台のアクセスポイントを設置する必要があるかを割り出すこととなる。

^{†1} 国立大学法人東京農工大学 総合情報メディアセンター
Tokyo University of Agriculture and Technology, Information Media Center.

また、無線 LAN アクセスポイントと無線 LAN クライアントとの間の通信には当然のことながら電波が用いられるため、電波特性上、干渉に関する考慮が必要となる。電波干渉には、同一無線 LAN システムにおける無線 LAN アクセスポイント間での影響（共通チャンネル干渉）、置局される無線 LAN アクセスポイントが属する無線 LAN システム外の機器からの影響（持ち込み通信機器や野良アクセスポイントなどからの干渉）、ISM バンドを利用するネットワーク機器以外からの影響（非 Wi-Fi 干渉）などがあり、アクセスポイント数が多くなる場合、これらの影響を十分に考慮した設計が必要となる。

これらの要素を考慮し、無線 LAN アクセスポイントを設置する際には、以下のような設計を行うこととなる。これにより、どこに、何台、どういう形で置くかといったことが決まり、実際の設置工事が実施されることとなる。また、より確実な設計を行うためには、サイトサーベイ等による周辺環境における電波状況の詳細な調査が行われることも多い。

- 台数設計：
想定する環境におけるアクセスポイント設置台数を検討する。これには、想定されるユーザ数、居室の広さ等の要素が関係する。
- チャンネル設計：
設置されるアクセスポイントで利用するチャンネルについて、共通チャンネル干渉等を考慮して検討する。集中管理型の無線 LAN システムには近隣アクセスポイントの状況を判断し、自動的にチャンネル割り当てを行う機能を有するものがある。
- 出力・データレート設計：
密度、カバレッジ等を考慮し、チャンネル設計とともにそのアクセスポイントがどの程度の出力強度・データレートで電波を送出するか検討する。
- 設置位置・アンテナ設計：
複数の機器設置が想定される場合、アクセスポイントが設置される環境に対して、どういった分布で設置するか、どの高さで設置するか、などを検討する。また、アンテナ配置についての検討を行う。
- 配線設計：
無線 LAN アクセスポイントまでは原則有線 LAN での配線が必要となる。設置位置の設計と合わせて、どのように有線 LAN を配置するか検討する。
- 電源設計：
無線 LAN アクセスポイントは電力を要する。このため、電源をどのように確保するか検討が必要となる。現在は、EPS 等から Power over Ethernet (PoE)[3]を利用して電力供給するケースが多い。

3. 東京農工大学における無線 LAN アクセス網の整備と課題

東京農工大学（以下、本学。）は、東京都府中市に本部を置く国立大学であり、農学部と工学部の 2 つを持つ。学生数は約 6000 人、教職員数は約 700 人である。キャンパスとして、東京都府中市にある府中キャンパス（農学部）と東京都小金井市にある小金井キャンパス（工学部）がある。

本学では現在、TUAT Wi-Fi サービスを展開しており、電子計算機システムアカウントを用いた認証を経由して利用できる *tuatnet*、ユーザがスポンサーポータル経由で一時アカウントを切り出しゲストユーザに利用させることができる *guestnet*、学認利用機関等のユーザが利用できる *eduroam* の 3 つの無線 LAN ネットワークを提供している。本学における無線 LAN アクセス網の整備は、1998 年から試験的に実施した無線 LAN アクセスポイントの設置に始まり、2013 年に大規模に実施した無線 LAN アクセス網の刷新[4]まで多くの機種を導入し、運用を行ってきた。2013 年導入システムまでは、アクセスポイントは自律型としての運用を行っており、運用管理に対する課題が徐々に顕著となっていた。2013 年導入システムでは、集中管理型のシステムを導入し、かつ可能な限り仮想基盤上で動作するように設計することで、システムの集約化とハードウェアに起因する制限を緩和するシステムを実現している。

2013 年導入システムの構成図を図 1 に示す。サーバ、ルータ系全てを仮想化基盤上に構築する予定であったが、コントローラ (Cisco WLC: Cisco Wireless LAN Controller) と位置演算エンジンである Cisco MSE (Cisco Mobility Services Engine) のハードウェアは既に手元にあり、コスト面を考慮し、仮想化ではなくハードウェアアプライアンスを利用している。

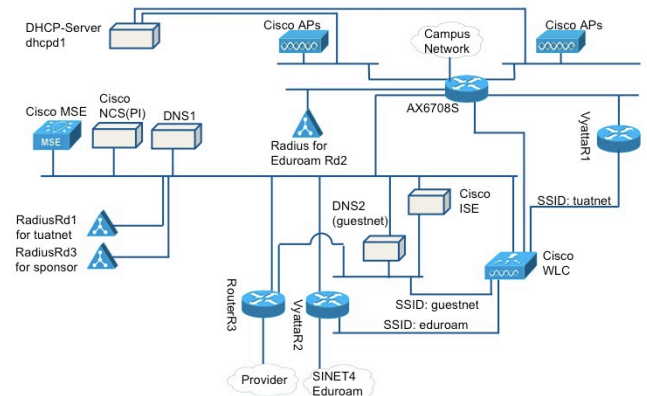


図 1 東京農工大学における無線 LAN システム
Figure 1 System overview of TUAT Wi-Fi Service.

キャンパスネットワークには図 1 内の既存のキャンパスネットワークコアスイッチ (AX6708) 経由で接続している。仮想化するサーバ、ルータは Cisco UCS B シリーズ

シャーシ内の B200-M2 ブレード (Intel Xeon 5600(8 cores) x 2/ Memory 48GB) 1 台の上に VMware ESXi 5.5 をインストールして仮想化基盤を構築し、その上に配置している。B シリーズシャーシはキャンパスネットワークと 20Gbps で接続している。アクセスポイントは、2013 年構築当初はすべて Cisco Aironet 2600 を利用していたが、後継機種種の登場に伴い、現在は Cisco Aironet 2700 を設置している。アクセスポイントは現在、府中・小金井両キャンパス内の各所に約 220 台設置され、広く利用されている。

アクセスポイントと WLC の間は CAPWAP によるトンネリングで結ぶ。これによりアクセスポイントと WLC が IP で通信できればよく、VLAN を ESSID 別に末端まで延伸する必要がなくなり、エッジスイッチの設定が簡単になる。一方でクライアントからのパケットは一度すべて WLC まで到達し、トンネリングを解除して WLC から出て行くことになり、WLC での折り返しが発生する。このため、WLC のインタフェースのボトルネックが問題となる可能性があり、現在は 1Gbps を 8 本束ねて 8Gbps として WLC とキャンパスネットワークコアスイッチ間を接続している。

3.1.1 次期教育用計算機システム更新に向けた無線 LAN アクセス網の増強に対する課題

本学では、2016 年初更新予定の次期教育用電子計算機システムの検討を行っている。次期システムでは、ユーザによる端末の持ち込みを想定したシステム構成を検討しており、ユーザ端末の自由な利用を可能とすべく、無線 LAN アクセス網の増強も計画に盛り込むこととなる。これまで、各キャンパス内の広いエリアで無線 LAN を利用できることを設計の軸に置いてきたことから特定の箇所において同時多数の端末接続を想定した設計とはなっていない。現行の無線 LAN システムにおいて、今後どのようにアクセス網の増強を図っていけば良いかといった検討課題が出てきている。

今回の増強では中規模講義教室において多数の無線 LAN クライアントが存在するといった環境を想定する必要がある。このような環境は高密度無線 LAN 環境と呼ばれる。高密度無線 LAN 環境では、より密集した多数の端末サポートを行うため、複数のアクセスポイントを綿密に設計し置局を行う必要がある。例えば、2.4GHz 帯を利用した無線 LAN 環境では、チャンネル利用の観点から密集したエリアに 3 台より多い (3 チャンネルより多い) アクセスポイントを設置することは好ましくないケースなどがある。また、より多くの端末を快適な通信速度で利用させることを考えた場合、アクセスポイント 1 台ごとの利用可能帯域幅を最大限利用できることがのぞましい。このためには、アクセスポイント間での端末アソシエーションが偏りすぎることとも問題となり得る。

本論文では、チャンネル利用率や干渉等の要素を検討する前に、面積規模が中規模である講義教室に複数の無線 LAN アクセスポイントを設置した際に、無線 LAN 端末のアソシエーションがどの程度の偏りを持って構成されるかについて、実際の端末を教室に配置し、アクセスポイントも実運用に利用しているものを用いることで可能な限り実地での状況を確認することを目的とする。これにより、アクセスポイント置局におけるアクセスポイント台数の検討に資する知見を得るものとする。

4. 実際の教室、実際のアクセスポイントを用いた無線 LAN システム動作検証

4.1 動作検証環境

実際の動作検証を行うために、本学の講義室のうち、中規模なものを選定し、実地に端末を並べる形で実験を行った。選定した講義室は、小金井キャンパス講義棟 L0026 番教室 (図 2) であり、教室定員 317 名、試験時定員 176 名である。ここに表 1 に挙げるスペックの端末 (図 3 中青色) を図 3 のように配置して検証を実施した。

設置するアクセスポイント (図 3 中赤色) は最大 4 台とし、実際の運用機器である Cisco Aironet 2600 を用いた。これら 4 台のアクセスポイントには、本動作検証専用の ESSID のみを送出するよう WLC にて設定を行い、端末にはこの ESSID のみ接続設定に投入し、自動接続を有効とした。アクセスポイントの設定としては、Client Load Balancing を有効とした以外は機器デフォルトの設定を行っている。

いずれのアクセスポイントについても、建屋 EPS から講義室に配線されている有線 LAN アクセス網を利用し、接続は情報コンセント経由である。また、EPS 内に設置した Buffalo 社製の PoE インジェクタである BIJ-POE-4P/HG[5] から PoE にて給電を行った。



図 2 小金井キャンパス講義棟 L0026 番教室
Figure 2 L0026 Lecture Room at KOGANEI Campus.

表 1 動作検証に用いた端末

Table 1 Spec overview of Client Computer.

機器	構成
実験端末#1 (9台)	富士通 LIFEBOOK E742/F OS: Windows8.1 Wi-Fi: 802.11n, 802.11a, 802.11b, 802.11g
実験端末#2 (40台)	HP ProBook 6550b OS: Windows7 Wi-Fi: 802.11n, 802.11b, 802.11g
実験端末#3 (1台)	Acer Aspire S3-391-H34D OS: Windows7 Wi-Fi: 802.11n, 802.11b, 802.11g

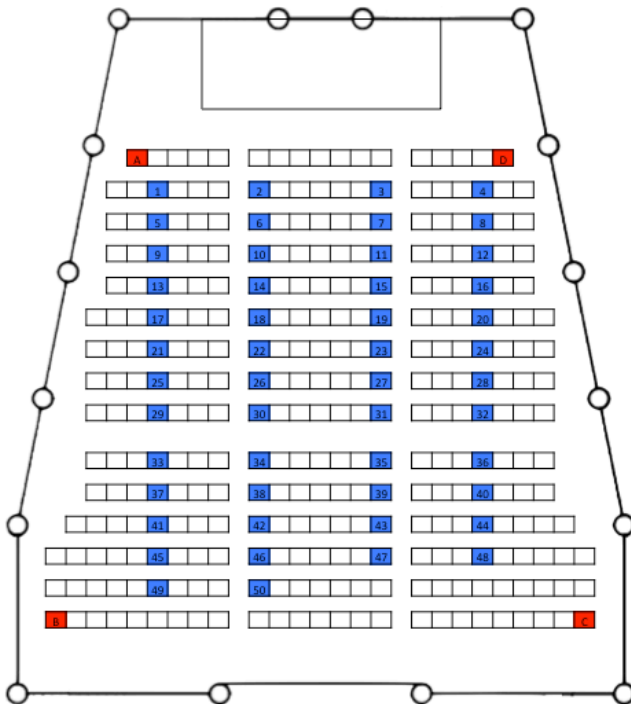


図 3 端末・アクセスポイント配置

Figure 3 Set up overview of Clients and Access Points.

動作検証の手順は以下の通りで実施した。いずれの手順においても端末に対しては一切の操作は行わなかった。

1. EPS 内の PoE インジェクタの電源を off/on する。
2. 各アクセスポイントが給電されたことを確認し、アソシエーションに必要な時間（5分間）待機する。
3. 各端末がアクセスポイントへアソシエーションしたことを確認し、WLC からアソシエーション先アクセスポイント情報を収集する。
4. 同様の試験（手順 1~3）を合計 3 回分実施する。
 <パターン A>
5. アクセスポイント数を 1 減させた状態（合計アクセスポイント数 3 台）で同様の試験（手順 1~4）を実施する。
 <パターン B>
6. アクセスポイント数をさらに 1 減させた状態（合計アクセスポイント数 2 台）で同様の試験（手順 1~4）を実施する。
 <パターン C>

4.2 動作検証詳細

4.2.1 パターン A : アクセスポイント 4 台での分散状況

アクセスポイント総数 4 台で実施したパターン A での検証結果を図 4 から図 6 までそれぞれ示す。アクセスポイントと同色となっているものがそのアクセスポイントに対してアソシエーションしている端末である。また太枠の端末（1~9）は 5GHz 帯でのアクセスが可能な端末である。

これらの結果より、アソシエーションするアクセスポイントについて、アクセスポイントからの距離には大きく依存せず、また、いずれか 1 台のアクセスポイントに大きく偏るといった挙動は見受けられなかった。さらに、必ずいつも同じアクセスポイントに対してアソシエーションするというわけでもないことも分かる。

また、一部アクセスポイントに対して他のアクセスポイントと比較して端末がアソシエーションしやすい状況が起きうるとも言える。大きな偏りは発生しないものの、小さな偏りはどのケースにおいても発生の可能性がある。5GHz 帯の端末について同一のアクセスポイントへアソシエーションする傾向が見受けられるが、分散しているケースもあるため、これについてはさらなる調査が必要と思われる。

4.2.2 パターン B : アクセスポイント 3 台での分散状況

アクセスポイント総数 3 台で実施したパターン B での検証結果を図 7 から図 9 までそれぞれ示す。アソシエーション先の色付けはパターン A と同様である。

これらの結果からも、アソシエーションするアクセスポイントについて、アクセスポイントからの距離には大きく依存しないことが確認された。また、必ずいつも同じアクセスポイントに対してアソシエーションするというわけでもないことも分かる。しかし、4 台での検証と異なり、非対称なアクセスポイント配置である 3 台の構成では、アソシエーション待機時間が 5 分間ではすべての端末のアソシエーションが完了しないケースが発生した。（試行 2 回目は収束までに 7 分程度要した）。また、収束が 5 分間で完了しているケースでは、アクセスポイントの偏りがパターン A と比較して大きくなる傾向が見られた。5GHz 帯の端末について同一のアクセスポイントへアソシエーションする傾向がパターン B でも見受けられる。

4.2.3 パターン C : アクセスポイント 2 台での分散状況

アクセスポイント総数 2 台で実施したパターン C での検証結果を図 10 から図 12 までそれぞれ示す。アソシエーション先の色付けはパターン A と同様である。これらの結果からも、アソシエーションするアクセスポイントについて、アクセスポイントからの距離には大きく依存しないことが確認された。アクセスポイント数が端末台数と比べて少なくなると、同じアクセスポイントに対してアソシエーションする傾向が見られるようになる。

アクセスポイント2台の構成では、いずれのケースにおいてもアソシエーション待機時間が5分間ではすべての端末のアソシエーションが完了しなかった。アソシエーション完了までに要した時間は、試行1回目は5分45秒、試行2回目は7分22秒、試行3回目は6分40秒となった。これが発生する要因としてはアクセスポイントの負荷増大がログから伺えるが、さらなる調査が必要である。5GHz帯の端末について同一のアクセスポイントへアソシエーションする傾向がパターンCでも見受けられる。

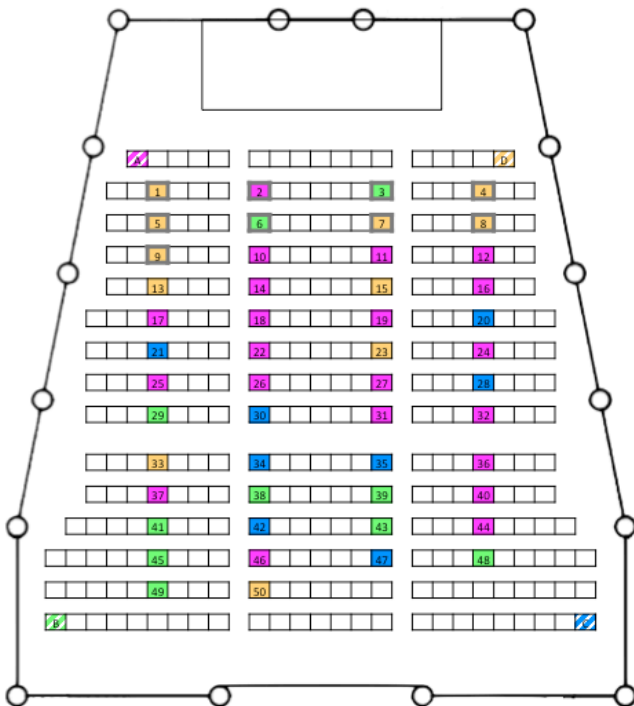


図 4 パターン A 試行 1 回目
 Figure 4 Result of Experiment #1 (Pattern A).

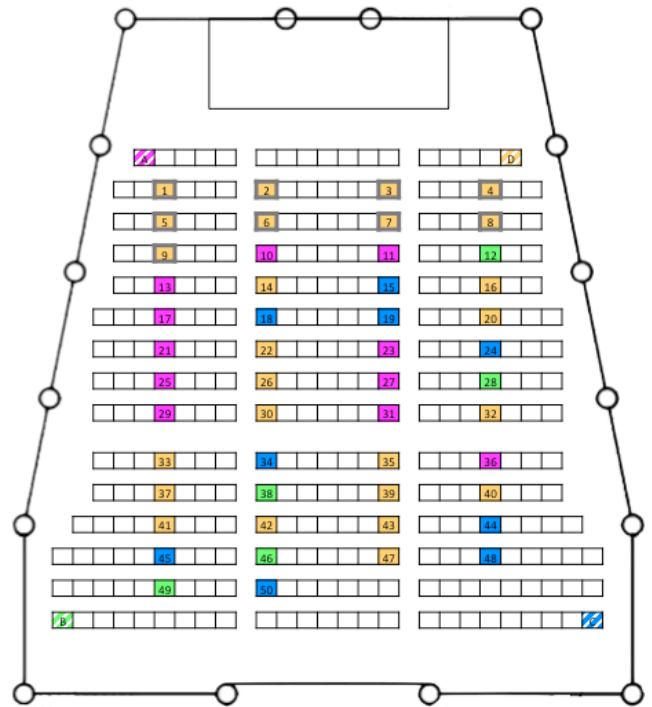


図 5 パターン A 試行 2 回目
 Figure 5 Result of Experiment #2 (Pattern A).

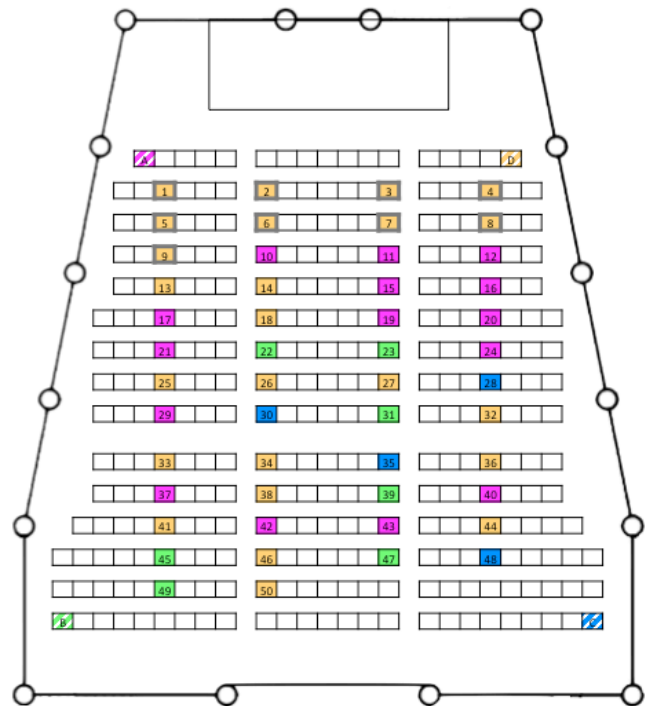


図 6 パターン A 試行 3 回目
 Figure 6 Result of Experiment #3 (Pattern A).

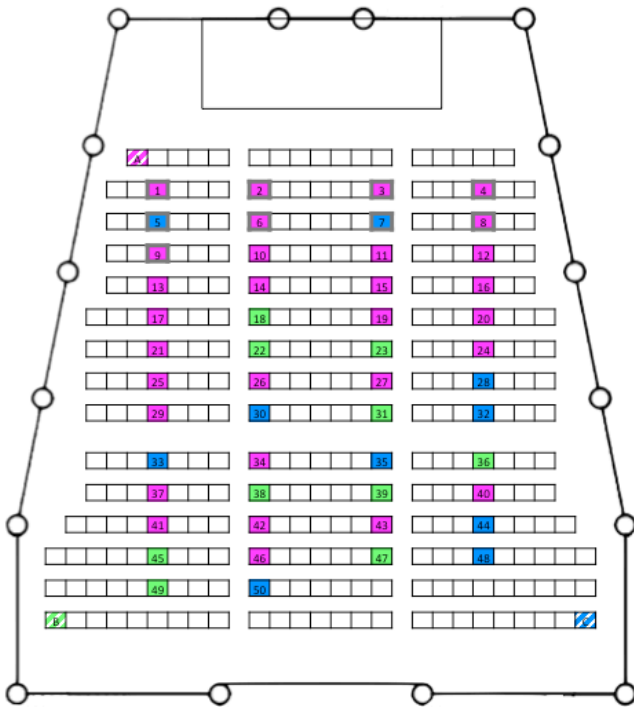


図 7 パターン B 試行 1 回目
 Figure 7 Result of Experiment #1 (Pattern B).

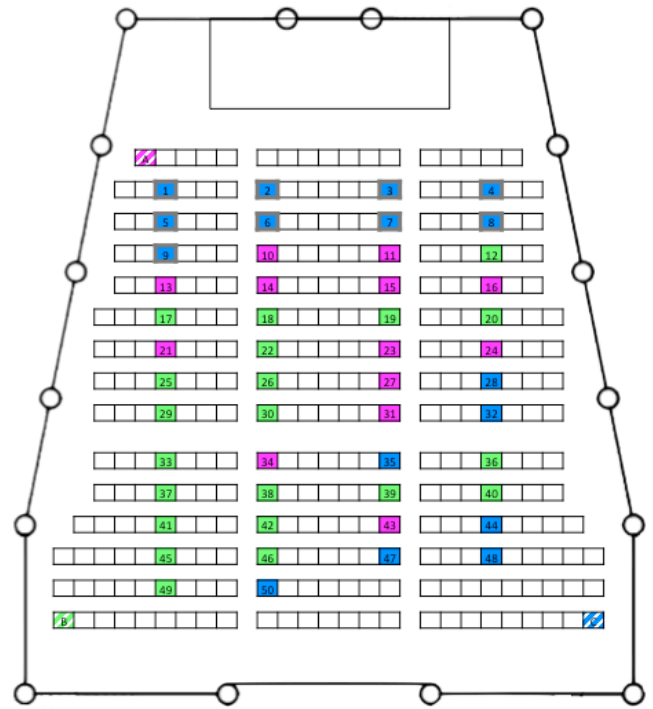


図 9 パターン B 試行 3 回目
 Figure 9 Result of Experiment #3 (Pattern B).

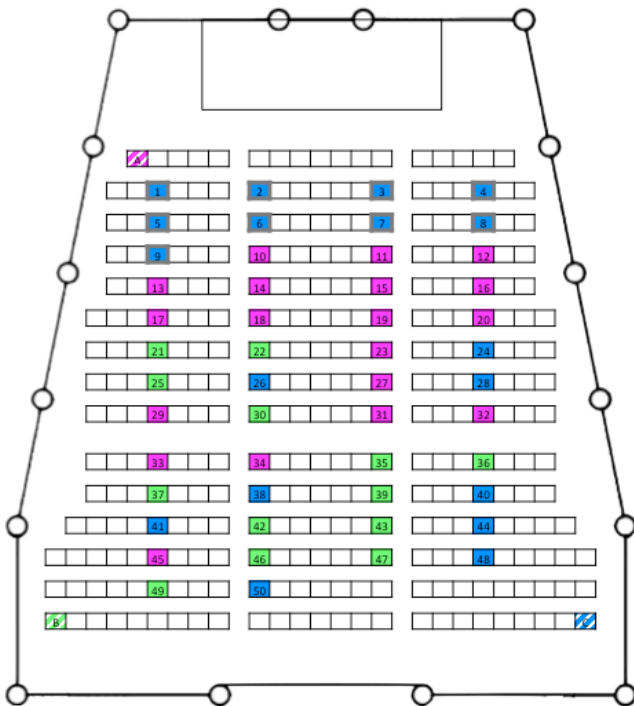


図 8 パターン B 試行 2 回目
 Figure 8 Result of Experiment #2 (Pattern B).

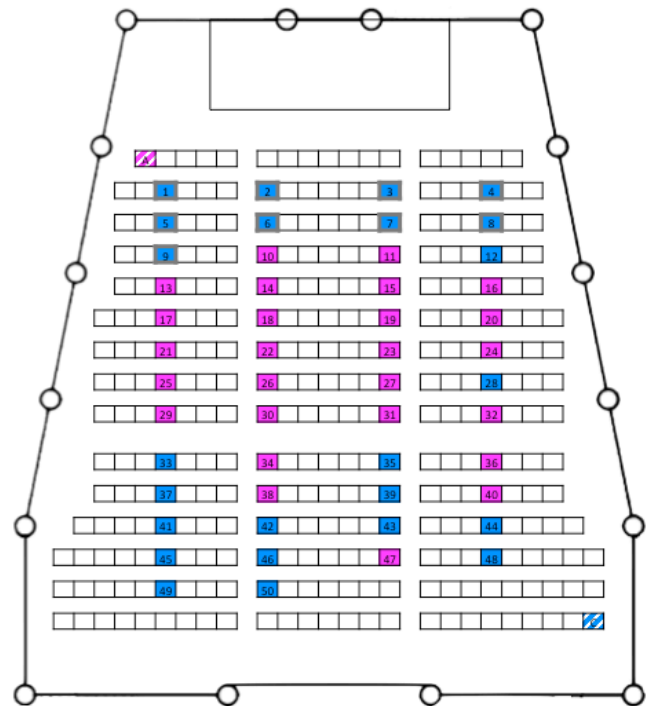


図 10 パターン C 試行 1 回目
 Figure 10 Result of Experiment #1 (Pattern C).

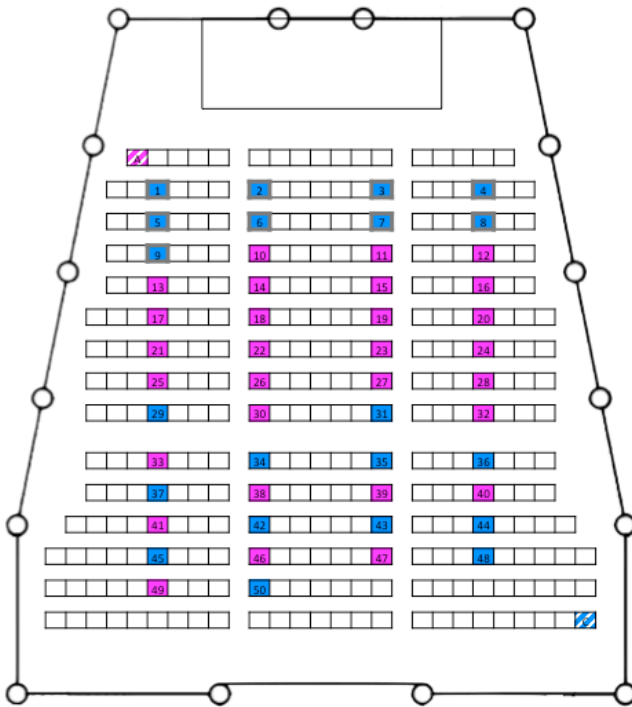


図 11 パターン C 試行 2 回目
 Figure 11 Result of Experiment #2 (Pattern C).

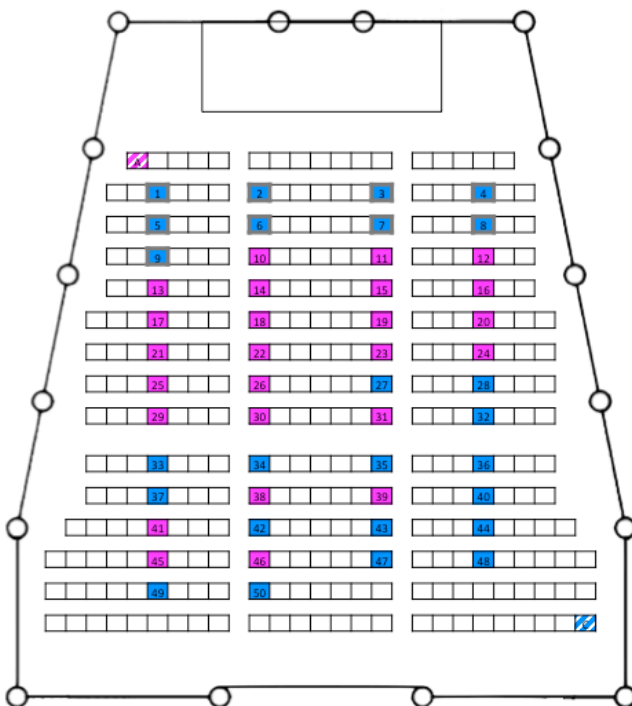


図 12 パターン C 試行 3 回目
 Figure 12 Result of Experiment #3 (Pattern C).

5. まとめ

本学では、2013 年より集中管理型の無線 LAN システムの導入を行い、運用を行っている。次期教育用計算機システムではより多くの無線 LAN 端末利用が想定されることから、これらに対する検討も必要となっている。

無線 LAN システムの運用において、無線 LAN アクセスポイントは、1 アクセスポイント当たりの想定される収容クライアント数や周辺環境に応じて、適切な置局設計を行い、設計に基づく台数にて置局を行う。面積規模の大きな居室では、より多くの利用者が想定され、複数のアクセスポイントの設置が必要とされるケースが多くなる。本稿では、無線 LAN システムの運用に際して直面する置局設計の段階に当たり、アクセスポイントに対する負荷分散を検討する材料として、アクセスポイント間での端末アソシエーション数の偏りに関する知見を得るべく、実運用に用いるアクセスポイントと実際のノート PC による端末を用いた実地検証を行い、その結果をまとめた。本検証では、実際に 300 人（試験時 180 人程度）規模の教室に端末を配置し、アクセスポイント間の偏りを観測するだけでなく、アクセスポイントを減数させることでアクセスポイント数変化が偏りに与える状況についても観測した。

今後の課題としては、より詳細なログ調査ならびにすでに得られたデータの整理を行うことでより詳細な端末動作傾向の獲得が挙げられる。検証実験を通じて、アクセスポイント数が減少するごとにアソシエーションにかかる動作が変化する傾向が見られることから、これらの調査は、さらなる知見を得る上で非常に重要な作業となりうる。また、本稿で取り上げた以外の実験も同時に実施しており、これらのデータの整理等を行った上でさらなる報告を行いたい。

謝辞

本稿の作成ならびに実証実験の実施におきまして、鈴木氏ならびに門脇氏をはじめとする北海道総合通信網株式会社の皆様のご尽力、葛生氏をはじめとするシスコシステムズ合同会社の皆様の助言をいただきました。謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 高等教育機関向け高密度無線 LAN デザインガイド:
 URL: http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/wireless/airo3500/prodli/t/design_guide_c07-693245.html (2015 年 6 月参照)
- [2] 藤枝俊輔: 全館無線 LAN の最適設計に関する検討, 情報処理学会研究報告, IOT, [インターネットと運用技術] 2012-IOT-19(13), pp.1-6 (2012)
- [3] IEEE P802.3at DTE Power Enhancements Task Force: URL: <http://www.ieee802.org/3/at/> (2015 年 6 月参照)
- [4] 櫻田武嗣, 三島和宏, 萩原洋一: 仮想化基盤を活用した無線 LAN システムの刷新, 学術情報処理研究, JACN, No.18, ISSN 1343-2915, pp.71-80 (2014).
- [5] BIJ-POE-4P/HG:
 URL: http://buffalo.jp/products/catalog/network/bij-poe-4p_hg/ (2015 年 6 月参照)