

# 無線 AP 接続情報の集計・分析による教室無線 LAN の品質改善の検討

山崎 國弘<sup>1),2)</sup>, 永田 正樹<sup>1)</sup>, 長谷川 孝博<sup>1)</sup>

1) 静岡大学 情報基盤センター

2) 株式会社アバンセシステム

Yamazaki.kunihiro@shizuoka.ac.jp

## Study on Quality Improvement of Classroom Wireless LAN by Aggregation and Analysis of Wireless AP Connection Information

Kunihiro Yamazaki<sup>1),2)</sup>, Masaki Nagata<sup>1)</sup>, Takahiro Hasegawa<sup>1)</sup>

1) Center for Information Infrastructure, Shizuoka University

2) AvanceSystem Corporation

### 概要

静岡大学では教室、リフレッシュスペースなど利用の多い箇所から全学無線 LAN を整備してきた。無線 AP 未設置の教室が残っている一方で無線 AP の設置が集中し稠密環境の教室では無線 LAN の利用拡大に伴う問題が発生する状況となっている。不特定多数が利用する無線 LAN は外部要因による影響で利用状況が大きく変動するため、無線 AP の稼働による問題の有無を確認することは容易ではない。

無線 LAN の品質低下の申告があった教室の調査で、授業時間中は無線 LAN の接続を継続することに着目し、比較的容易に取得できる無線 AP の端末接続情報を集計・分析することで発生頻度の低い品質低下事象を検出し対策後に効果確認ができる手法を確立できた。この知見を活かし浜松キャンパスの 26 教室を対象に集計・分析を行い品質低下事象の発生傾向を把握し有効性が確認できたので集計・分析手法及び改善策の検討について報告を行う。

## 1 はじめに

2023 年 4 月に利用者から申告された授業時間中に発生した教室無線 LAN の問題について無線 AP 接続情報の集計・分析により原因を推定し、5 月に対策実施し改善効果の確認を行った。[1]

この知見を活用した教室無線 LAN の品質低下事象を検出する手法で浜松キャンパス内 26 教室に設置された 41 台の無線 AP を対象に 2023 年 7 月のデータを使用して品質低下事象の有無について集計・分析を行い手法の有効性を確認した。

2 章で分析対象のデータ取得と分析手法及び 2023 年 4 月から 5 月に実施し改善効果が確認できた事例を記述する。

3 章で 26 教室 41 台の無線 AP について教室に設置された無線 AP 台数毎に集計・分析した結果を述べる。

最後に 4 章でまとめと発見された問題の改善策について述べる。

## 2 対象データ取得と分析手法及び改善効果が確認できた事例

### 2.1 対象データと分析方法

#### (1) 分析対象としたデータ

無線 AP の端末接続情報を 10 分間隔で無線 LAN 管理サーバから API を使用し取得している。取得情報は日時、無線 AP 名、接続している無線インターフェース(5GHz 又は 2.4GHz)、SSID、端末の MAC アドレス及び端末の受信電波強度(Received Signal Strength Indicator 以下 RSSI と記述)である。

#### (2) 集計対象期間

2023 年 7 月 1 日～31 日の平日授業時間(90 分授業を 1 日 5 コマ)を集計している。教室内は無線 AP が見通し範囲内にあり、学生が使用するパソコンは 5GHz 対応製品であることから 5GHz の接続を集計・分析している。

#### (3) 授業単位のデータ集計

本学は 90 分を 1 コマとして授業を実施している。授業時間前後の学生(端末)移動の影響を除外するため授業開始から 10 分間と終了前 10 分間を除い

た 70 分間を集計した。

授業時間中は無線 AP への接続が継続されるため、この 70 分間のうち 60 分以上接続が記録されていた端末を授業に参加していた端末とみなすことにした。端末 RSSI は 6~7 回分の平均をその授業における端末の RSSI としている。

#### (4) 分析対象の授業

- 無線 AP の端末接続数が多く混雑した状態で無線 LAN の品質低下を検出するため、60 分以上の接続が 30 端末以上の授業を分析対象としている。

- 複数の無線 AP が設置されている教室はいずれか 1 台の無線 AP で 30 端末以上の接続がある授業を分析対象とした。[2][3]

- 分析対象の授業で 60 分以上接続している端末 RSSI の平均値をその授業の無線 AP の RSSI 平均値とし、更に端末 RSSI の標準偏差を計算している。

## 2.2 無線 LAN 品質低下の調査結果と対策の効果確認

授業実施に影響があったと無線 LAN のレスポンス低下事象の申告があった教室の無線 AP の調査を 2023 年 4~5 月に実施し、5 月中旬に推定された原因に対する対策を行って改善を確認することができた。

調査及び改善策を実施したのは 2 台の無線 AP が設置された 2 教室で以下の問題が確認できた。

#### (1) 同一無線チャンネルが設定されていることによる電波干渉の発生

- 近接する教室の無線 AP に同じ無線チャンネル(以下チャンネルと記述)が設定され電波干渉で端末接続が不安定となっていた。

- 電波調査では干渉源の無線 AP のビーコン信号は問題にならない電波強度であったが、干渉源の無線 AP に接続する端末による電波干渉が発生した。

- 通信不良から無線 AP と端末の接続が不安定となり 60 分以上接続する端末数の割合が低下した。

- 無線 AP のチャンネル設定を変更後、干渉源となっていた教室の無線 AP の端末接続数が多い時にも影響を受けていないことを確認した。

#### (2) 教室内の 2 台の無線 AP が、チャンネルボンディングに対応したチャンネル設定となっていないために相互に電波干渉が発生した。[4][5][6]

- チャンネルボンディングしている帯域の半分が重複することで、端末接続数が増加すると電波干渉が顕在化する。

- 前項の同一チャンネル設定による電波干渉より発

生頻度が低く問題の発見が困難であった。

- 通信不良から無線 AP と端末の接続が不安定となり 60 分以上接続する端末数の割合が低下した。

ローミング環境で多数の無線 AP が設置される場合は無線 AP の設定は共通で、教室に設置された無線 AP で調整が必要なのはチャンネル設定だけになる。

無線 AP の送信出力を制限し利用可能範囲(端末が無線 AP に接続する範囲)を小さくする調整が行われる例は多いが、電波干渉対策としては効果が認められない。

## 2.3 教室の無線 AP の評価項目

2 教室の問題調査及び改善結果から以下の評価項目について知見を得た。

#### (1) 他無線 AP の電波干渉の把握

- 電波干渉は干渉源になっている無線 AP の端末接続数及びトラフィック量で影響度合いが変化するため 1 カ月程度の継続した集計・分析が必要。

- 電波干渉は無線 AP の電波だけでなく接続する端末の電波でも発生し端末の位置により影響度合いが異なる。

- チャンネルボンディングとチャンネル設定の不整合は発生頻度が少ないため発見が難しい。

- 電波干渉の影響は授業時間中の無線 AP 接続端末数に対する 60 分以上接続している端末数の割合が低下し接続が不安定となっていることで確認できる。

#### (2) 周辺教室から教室内無線 AP への大量接続の把握

- 周辺教室から弱い電波強度による多数の接続があると無線 AP の通信速度が低下する。

- 周辺教室からの大量接続があると平均 RSSI が低下し RSSI の標準偏差が大きくなる。端末の RSSI 分布で詳細な確認ができる。

## 3 教室の無線 LAN の稼働状況

### 3.1 標準的な無線 AP の状況

今回調査を行った 26 教室の分析対象授業の RSSI 平均値を無線 AP 毎に平均した分布を図 1 に示す。

RSSI の平均値は-52dBm を中心に-44dBm から-57dBm の範囲に分布し、ほとんどの無線 AP が強い電波で端末と接続している。26 教室の無線 AP のうち 3 台が-60dBm 以下の弱い接続になっており問題の可能性はある。

RSSI の標準偏差は 4~6 程度で、授業時間中の

端末 RSSI は±10dB~15dB の範囲に分布しており教室端末の約 80%は-60dBm 以上の強い電波強度で無線 AP に接続している。

授業時間中の無線 LAN 利用は十分に強い電波強度であり、電波強度に起因する通信速度の低下を考慮する必要はない。

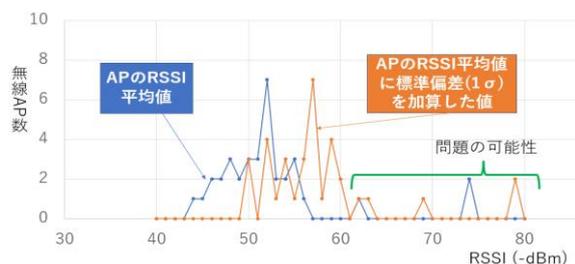


図-1 無線 AP の RSSI 平均値分布

### 3.2 無線 AP が 1 台設置された教室の状況

無線 AP が 1 台設置されている 17 教室の分析結果を図 2 に示す。

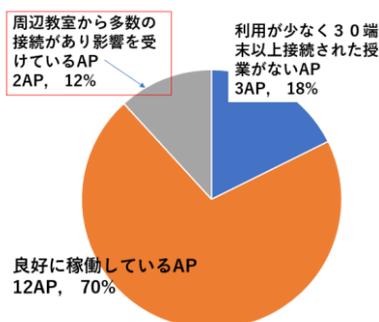


図-2 無線 AP が 1 台の教室の分析結果

全体の 70%は良好に動作しているが、周辺教室から多数の接続があり影響を受けている教室が 2 つ発見された。

平均 RSSI が標準より 15~20dB 低く、5GHz の接続が少なく、2.4GHz の接続が多いことから周辺(隣接又は上下階)教室にいる端末から多数の接続があると判断できる。

周辺教室から多数の接続がある教室で、教室内の端末のみが接続している授業と、周辺教室から接続がある授業の RSSI 分布の比較を図 3 に示す。

RSSI の標準偏差が大きい場合は、教室内で接続している端末と周辺教室から接続している端末が混在しており、周辺教室の端末の弱い電波による接続の影響で教室内の端末も通信速度が低下する可能性が高くなる。

対策としては無線 LAN 利用ニーズが大きい教室に無線 AP を設置する必要があるが、大きな費

用が必要なため接続している端末数や発生頻度・授業数などの根拠となるデータを蓄積し無線 AP 新設の判断材料とすることが重要になる。

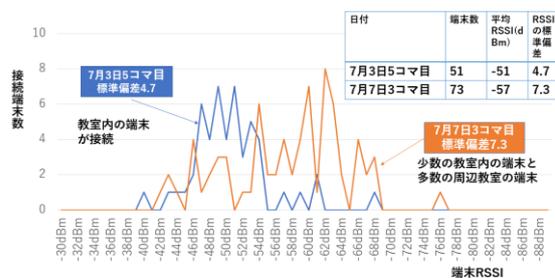


図-3 教室内のみ接続と周辺教室から接続がある場合の RSSI 分布の比較

### 3.3 無線 AP が 2 台設置された教室の状況

無線 AP が 2 台設置された教室は 6 教室で、概ね良好と判断できるのは半数の 3 教室であった。6 教室の分析結果を図 4 に示す。教室内のどちらか 1 台が 60 分以上の接続が 30 端末以上になった授業を対象に集計・分析を行っている。

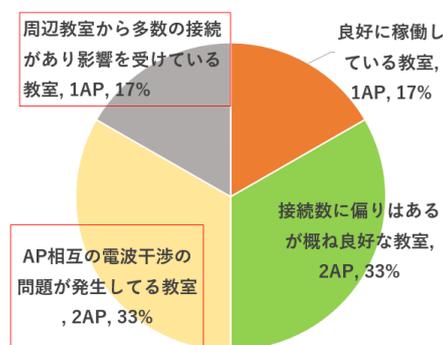


図-4 無線 AP が 2 台設置教室の分析結果

#### (1) 教室内の無線 AP 相互の電波干渉による問題

無線 AP のチャンネルボンディングとチャンネル設定が整合していないことに起因している。

端末が高速通信を行うためにチャンネルボンディング帯域を大きくすると割当て可能なチャンネル数が減るため稠密な無線 LAN 環境では電波干渉のリスクが高くなる。通信速度と安定接続のバランスに配慮した設計が重要である。

本学では無線 AP の増設を繰り返したことで複数世代の製品が混在する状況で、チャンネルボンディングとチャンネル割り当ての不整合が発生したと思われる。無線 LAN 導入時の設計による確認だけでなく、実際の利用状況を計測し問題

の有無を確認することが重要である。

教室にある無線 AP の無線帯域が部分的に重複しているため片側の無線 AP の接続端末数が増加すると反対側の無線 AP が電波干渉の増加で端末の接続が不安定となる。

教室内の接続数の多い無線 AP の端末接続数と反対側の無線 AP の 60 分以上接続している端末の割合の関係を図 5 に示す。

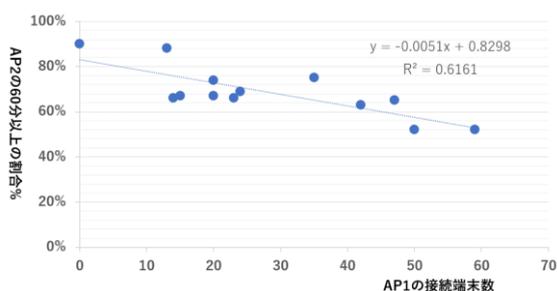


図-5 無線 AP 接続数と安定接続している端末割合の関係

両者には負の相関関係が認められる。受講する学生が増加すると両方の無線 AP の端末接続数が増加するため影響はさらに大きくなる。

教室内の無線 AP 相互の電波干渉が増加するとチャンネル使用率が増加、無線 AP の接続が不安定になるなどの問題で利用者は無線 LAN の品質低下を感じることになる。

### (2) 周辺教室から多数の接続

1 台の無線 AP が設置されている場合と同様であるが、2 台の無線 AP の片側にだけ周辺教室から多数の接続があると教室内の着席位置により無線 LAN の品質が大きく異なり事象把握が困難になる。

無線 AP が設置された教室と、多数の接続のある教室の授業は無関係に実施されるため無線 AP の接続数に大きな偏りが発生する可能性が高い。

### (3) 無線 AP の接続数の偏り

授業中に動画再生、LMS に接続するなど高トラフィックの通信を行う場合に無線 AP 毎の接続端末数を少なくし教室全体の性能向上を目的として教室に複数の無線 AP を設置している。

このためには 2 台の無線 AP の接続数が均等になることが重要である。無線 AP の接続数は教室内の学生の分布によるが、どちらの無線 AP

も電波強度が十分強いことから端末が常に直近の無線 AP に接続されるとは限らない。[7]

2 台の無線 AP の接続数が均等になっている教室で授業毎の無線 AP 接続数の差の分布を図 6 に示す。

分析対象の接続数の平均値は AP1 が 43、AP2 が 38 で、30 端末以上の授業回数も AP1 が 36、AP2 が 33 と均等利用されている。

しかし、授業毎では図 6 のように大きな差が発生することがある。

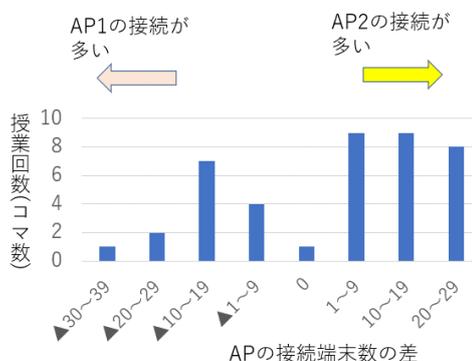


図-6 接続数が均等な教室の無線 AP の接続数の差の分布

2 台の無線 AP の接続数の差が ±9 以下の授業は全体の 1/3 で、AP2 の接続数が大きい授業が多い傾向を示している。

このように 2 台の無線 AP の接続数の関係は常に変動していることから継続的に集計・分析をおこない傾向を把握することが重要になる。

無線 AP の接続数に偏りのある教室の例を図 7 に示す。

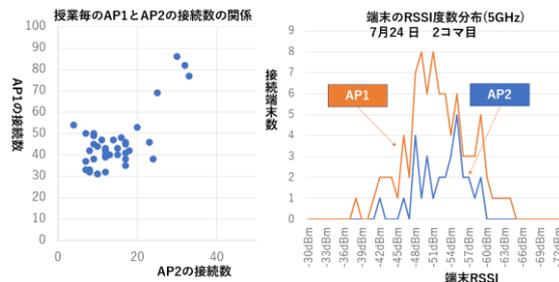


図-7 接続数の偏りがある教室の例

左図は分析対象の授業について AP1 と AP2 の端末接続数の関係を示している。常に AP1 の接続数が大きい。分析対象の授業は 30 端末以上のため AP1 には 30 端末以下がない。

右図は 7 月 24 日 2 コマ目の授業で AP1 と AP2 に接続している端末 RSSI の分布でほぼ同じ傾

向を示している。接続数の多い AP1 に弱い電波の接続があることから、スマートフォンが最初に AP1 に接続し着席後もその接続を継続している影響が考えられる。

2 つの無線 AP の接続数に差はあるもののほぼ比例関係にあることから学生の着席位置による影響と判断した。例えば教室の後ろから席が埋まり人数が多いと前方の着席が増えるなどがある。

教室内の無線 AP に接続数の偏りがある場合は、無線 AP の接続数が比例関係にあるか、無線 AP の端末の RSSI 度数分布が同じような分布であるか、60 分以上の接続の割合低下から無線 AP 固有の問題であるかの判定を行う。

### 3.4 無線 AP が 4 台設置された教室の状況

3 教室で授業中に高トラヒックの通信を考慮し無線 AP が 4 台構成になっている。

教室内の無線 AP で 1 台が 60 分以上の接続が 30 端末以上になった授業を対象に集計・分析を行っている。以下の問題が発見された。

#### (1) 教室内の無線 AP 相互の電波干渉による問題

全ての教室でチャンネルボンディングとチャンネル割当て不整合の問題が見つかった。無線 AP に設定されているチャンネルと電波干渉の関係の例を図 8 に示す。

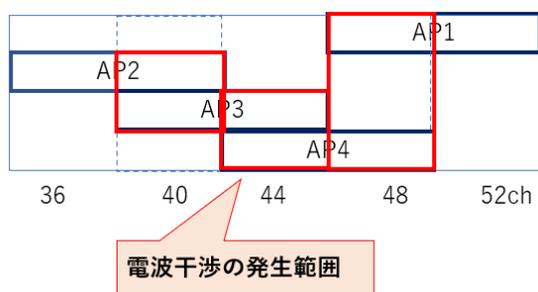


図-8 無線 AP に設定されているチャンネルと電波干渉の関係の例

無線 AP それぞれで電波干渉の影響が異なっており、無線 AP が 2 台設置された教室のように明確な影響を把握することはできなかった。

そこで無線 AP 毎に分析対象の授業について 60 分以上の接続の割合の平均値を求め比較した。

無線 AP 設置数毎の比較を図 9 に示す。教室

の無線 AP 設置数が増えると、安定接続つまり 60 分以上の接続割合が低下する傾向が確認できた。

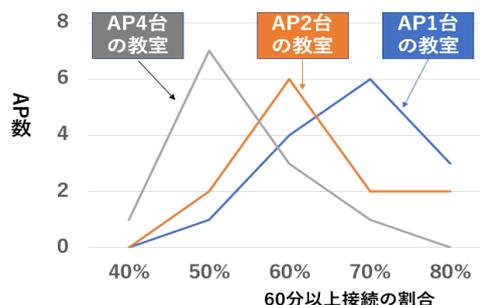


図-9 無線 AP 設置数別の安定接続率変化

チャンネルボンディングとチャンネル割当ての不整合が最も大きな要因になっている。

教室全体の端末接続数の最大値が 100~150 であるため、4 台の無線 AP に均等に接続されれば 25 端末/AP~35 端末/AP で全員が一斉に動画視聴が可能な性能を確保している。

残念ながら無線 AP 設定の問題で接続の安定性が低下し期待した性能向上とは逆の結果となっている。

#### (2) 周辺教室から多数の接続

4 台の無線 AP の 1 台に他教室から大量の接続がある教室が 1 つあった。この教室の無線 AP 別端末 RSSI 度数分布の例を図 10 に示す。

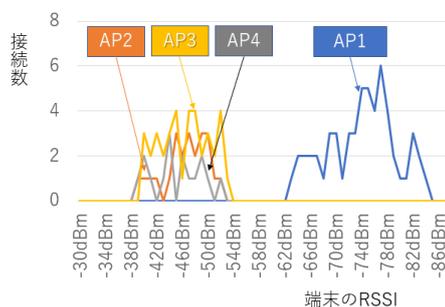


図-10 無線 AP 毎の端末 RSSI の度数分布

例で示した授業の 60 分以上接続している端末数は 134 であった。このうち 57 端末が AP1 の接続で他の 3 台の AP と比べて 25~30dB も弱い電波強度で接続されている。

このことから AP1 には他教室から大量の接続があると判断できる。この授業では接続端末数の約 30% が他教室からの接続になっている。

### (3) 無線 AP の接続数の偏り

無線 AP 別に平均接続数を計算した結果を図 11 に示す。

左図は各教室の無線 AP 別平均接続数の比較である。教室 A は 3 台の無線 AP がほぼ同じで最もバランスがとれていて、教室 B は 1 台の無線 AP の接続が多く偏りが大きい。

平均接続数のグラフでは教室毎の比較が難しいため教室毎に無線 AP 接続数の標準偏差を求め比較したのが右図である。

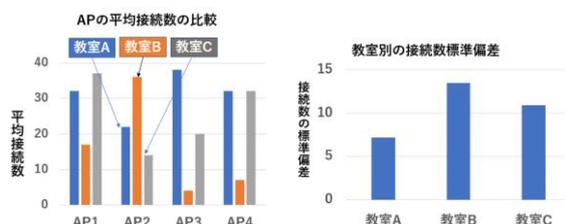


図-11 無線 AP 毎の平均接続数の比較

無線 AP の端末接続情報の集計・分析を行うことで教室の無線 LAN の動作状況の評価が可能であることが確認できた。

本稿で調査対象とした教室はチャンネルボンディングとチャンネル割り当ての不整合の問題があることと、1 か月間だけの分析であるため受講者数の増減や授業内容により教室の一部に学生が集中している可能性もある。

正確な判定のためには問題点解消後に一定期間の集計・分析が必要である。

## 4 まとめと改善策

### 4.1 問題の把握

教室の無線 LAN を利用者の多い授業時間に着目した本稿の分析手法で、発生頻度が低く利用の集中したときに発生する無線 LAN の品質低下を把握できることが確認できた。

本稿で分析対象とした 26 教室 41 台の無線 AP でも多くの課題が発見された。最近の無線 LAN 製品は自動設定機能が充実し設計及び設置工事の稼働が大きく減少することが期待されるが、実際の利用環境で期待通りの効果が得られているかデータを取得・分析して確認する必要性を示唆している。

問題は以下に分類できる。

- ① 周辺無線 AP の電波干渉による端末接続の不安定化

- ② 無線 AP 未設置の教室からの大量の接続による無線 AP の混雑
- ③ 学生着席位置による無線 AP 接続の偏り

### 4.2 改善策

電波干渉はチャンネル設定で改善できるが、無線 LAN 更改時は既存設定が踏襲されることがよくあるため事前に問題の有無を確認しておく必要がある。

無線 AP 未設置教室からの接続は、無線 AP の増設が必要だが費用対効果の根拠を取得する必要がある。

最後の教室内の学生の分布は無線 LAN システム側だけでの対応は困難であり、無線 AP の混雑情報を公開することで混雑の少ない無線 AP 周辺の座席利用を促したいと考えている。

## 参考文献

- [1] 山崎國弘、磯部千裕、永田正樹、長谷川孝博、”無線 AP の端末接続情報を使用した教室無線 LAN の接続不安定事象の検出と周辺無線 AP との電波干渉の発生把握手法の検討”、第 27 回学術情報処理研究集会予稿集、1-6 頁、2023 年 9 月。
- [2] 浜元信州、井田寿朗、齋藤貴英、小田切貴志、綿貫明広、横山 重俊、”無線 LAN 規格による端末同時接続性能差について”、情報処理学会研究報告、Vol.2020-IOT-50、No.8。
- [3] 石原知洋、四本裕子、角野浩史、玉造潤史、中村遼、小川剛史、相田仁、工藤知宏、”教室におけるオンライン講義受講のための無線接続環境評価”、情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス、Vol.3 No.3 66-76、July 2022
- [4] 市来拓朗、野林大起、福田豊、池永全志、”競合 WLAN が 11ac チャンネルボンディングに与える影響調査”、2018 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、2018 年 9 月。
- [5] 田村瞳、藤井一樹、野林大起、塚本和也、”IEEE802.11ac 準拠の機器におけるチャンネルボンディング機能の性能評価”、トランザクションデジタルプラクティス、Vol.2 No.2(Apr. 2021)。
- [6] 福田豊、畑瀬卓司、富重秀樹、林豊洋、”BYOD 環境整備に向けた無線 LAN 通信実験”、情報処理学会誌、Vol.60、No.3、758-767、mar.2019。
- [7] 三島和宏、櫻田武嗣、荻原洋一、”中規模講義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”、情報処理学会研究報告、Vol2015-IOT-30、No6、2015 年 7 月