

九州工業大学・全学セキュアネットワークにおける 無線 LAN 更新 (2019 年) とその改善策の検証

福田 豊^{1,a)} 中村 豊¹ 佐藤 彰洋¹ 和田 数字郎² 岩崎 宣仁²

概要: 本学は 2019 年 9 月に全学セキュアネットワークを更新した。このうち無線 LAN システムの更新は、学内アンケートから得られた要望と、利用動向調査 [13] から抽出した 5 つの改善点に基づいて実施した。具体的には (1) 平均利用端末数の増加を見越した AP の増設, (2) 稠密環境を考慮した IEEE 802.11ax[4] 対応機種種の導入, (3) トラフィック増加に備えた有線側の増速, (4) 講義に直接関係しないトラフィック制御, (5) 利用動向に基づく AP 機材選定である。この更新により, AP は更新直前の 368 台から約 1.3 倍増加し 470 台となった。本稿ではこの改善点を元に行った具体的な更新内容と, 2019 年度の利用動向について述べる。続いて導入前後の利用状況を比較して, 実施した改善策の効果を検証し有効性を明らかにする。

キーワード: 無線 LAN, IEEE 802.11ax, ネットワーク管理

Upgrading campus WiFi at Kyushu Institute of Technology in 2019 and verifying their improvements

YUTAKA FUKUDA^{1,a)} YUTAKA NAKAMURA¹ AKIHIRO SATOH¹ SUJIRO WADA² YOSHIHITO IWASAKI²

Abstract: Our campus wifi system had upgraded in September 2019 [1] based on both the investigation of the usage trends from 2014 to 2018[13] and the survey results from the campus. In this upgrade, the number of APs increased by 30 % to over 470, and some of them were compliant with IEEE 802.11ax. This paper describes our new wifi system in detail and indicates the effectiveness by comparing wifi usages before and after the upgrade.

Keywords: Wireless LAN, IEEE 802.11ax, Network Management

1. はじめに

九州工業大学は 2019 年 9 月に全学セキュア・ネットワークの更新を行った [1]。新しいネットワークでは、基本的なネットワーク構成は踏襲しつつ、セキュリティ対策と無線 LAN 環境の強化、及びログ分析基盤システムの導入

を行った。この内、無線 LAN の更新は学内における円滑な教育研究活動を支援するため、以下に示す本学の基本整備指針に従って進めた。

- 利用エリアの拡大
- 端末収容数の増大への対応
- 講義運営を妨げない通信環境の提供
- 費用対効果を考慮した AP (Access Point) の設置

特に本学では 2018 年からは情報工学部 (飯塚キャンパス) で, 2019 年からは工学部 (戸畑キャンパス) で BYOD (Bring Your Own Device) 導入が決定していたため [2], 様々な利用形態に耐えられるようにできるだけ高スループットを実現できるシステムの導入を目指した。

¹ 九州工業大学 情報基盤センター
Information Science and Technology Center, Kyushu Institute of Technology, Sensui 1-1, Tobata, Kitakyushu, Fukuoka 804-8550, Japan

² 九州工業大学 飯塚キャンパス技術部
Iizuka Campus Technical Support Office, Kyushu Institute of Technology, Kawazu 680-4, Iizuka, Fukuoka 820-8502, Japan

a) fukuda@isc.kyutech.ac.jp

そのために更新に先立って学内アンケートを実施し、APの高速化や新規設置、増強のニーズを把握することに努めた。さらに2014年から2018年までの本学における無線LAN利用動向を調査して上述の基本指針と照らし合わせた結果、以下の5つの改善策を実施することにした[3]。

- (1) 平均利用端末数の増加を見越したAPの増設
- (2) 稠密環境を考慮したIEEE 802.11ax [4] 対応機種種の導入
- (3) トラフィック増加に備えた有線側の増速
- (4) 講義に直接関係しないトラフィック制御
- (5) 利用動向に基づくAP機材選定

この改善策に従って新無線LANシステムではIEEE 802.11axに対応したAPを講義室を中心に100台導入した。また、全てのAPを最新機材に更新することは不可能であるため、導入済み機材を整理して再配分することで、全てのAPがIEEE 802.11ac [5]以降をサポートするようにした。一方有線側では、APの収容数が多いPoE Switchは機材を交換し上位Switchとの接続を10 Gb/sに高速化した。加えて講義に直接関係しないトラフィックは無線LANコントローラで1~10 Mb/s程度に抑制するように速度制御を行った。

本稿ではまず本学における無線LANの更新について述べる。続いて導入後の利用動向を明らかにし、実施した改善策の効果を、更新前後の利用動向を比較して検証した。今回調査した項目は以下の通りである。

- AP増設による負荷軽減(改善策(1))
- IEEE 802.11ax対応機材の利用率(改善策(1), (2), (5))

検証結果より、更新後はAPの負荷軽減を達成し、IEEE 802.11ax対応機材を効果的な箇所に設置できていることを明らかにした。

2. 無線LANネットワークの更新内容

本節では1節で述べた改善策に基づく無線LANシステムの具体的な更新内容について説明する。

2.1 IEEE 802.11ax 導入とAPの再構成

更新前後の無線LANシステム構成図を図1, 2に、また前無線LANシステム導入直後の2014年、前システムの最終年度である2018年、及び更新後のAP数を表1に示す。

はじめに改善策(1)に基づきBYOD導入によりAPに高負荷がかかると思われる箇所(講義室等)を利用調査結果を参考にして選出した[3]。また、学内アンケートからはリフレッシュスペース等へのAP設置、及びBYODに対応したAPの高速化、大容量化の要望があったため、公共性は高いがAPは未設置である場所や収容人数に応じてAPを増設すべき講義室を選定した。そして多数のAPが密に設置される箇所では改善策(2)よりIEEE 802.11ax

対応機材を導入することにした。さらに2020年8月1日にサポートが切れるIEEE 802.11nまでにしか対応しない機材を撤去することにし、改善策(5)より設置済みのAPも費用対効果を考慮して機材性能に応じて別の箇所に移動させることで全体的に再構成を行った。

結果として図2に示すとおり、IEEE 802.11axに対応したHPE(Hewlett Packard Enterprise)社製のAP-515[6]を100台導入(戸畑キャンパスに41台、飯塚キャンパスに59台)、不足箇所や費用対効果から高性能機材は不要と判断した箇所への設置としてIEEE 802.11acに対応したAP(HPE社製)を45台導入(AP-315 1台[7], AP-303[8] 43台、屋外用AP-367[9] 1台)、また既設APの内48台を移設(内6台はキャンパス間)することにした。更新前後でAP数を比較すると、図1, 2, 及び表1より、更新直前の368台から470台(戸畑キャンパス213台、飯塚キャンパス217台、若松キャンパス40台)へと約1.3倍増加した。この再構成により、新機材の導入数は全体の約3割(30.9% = 145/470)に抑えることができたが、逆に全体の1割のAPを移設しなければならなくなった。そのためAPの作業日程を慎重に調整し、可能な範囲で著者が事前にAPを撤去しておくなどの作業を行った。なお、APの増設箇所や機材の選定については[3]の5節に記述している。

HPE社の無線LANコントローラ7210[10]はIEEE 802.11ax対応バージョンへ更新したが、これまで通りキャンパス間でのHA構成を維持するためにMobility Master[11]を導入した。コントローラとAPの管理には統合管理ソフトウェアであるAirWave [12]を引き続き用いていることにした。

2.2 有線側の増速

本節では改善策(3)に基づく有線側の増速について述べる。2.1節で述べたように講義室を中心にAPの設置台数を増やした結果、PoE Switchに収容するAP数は増加することになった。ここで先行調査[13]によるとIEEE 802.11ac 2x2 MIMOを有する端末のスループットはチャンネル幅が20 MHzで105 Mb/s、40 MHzで197 Mb/sであった。20 MHzのチャンネル幅で運用する場合、10台以上のAPを収容するPoE Switchは、上流との通信が1 Gb/sを超えパケット廃棄が発生する可能性がある。実際に講義棟などAPの設置密度が高い箇所では、PoE SwitchのAP収容数が10台を超えており手当が必要であった。

そこでまず該当する箇所で光ファイバの品質が10 Gb/sに対応出来るかどうか(もしくは余剰ファイバがあるか)を確認し、不足する箇所では光ファイバの敷設工事を行った。そして10 GBASE-SR/LR/LRMに対応するPoE Switchを20台(48ポートモデルを8台、24ポートモデルを12台)導入し、上流との接続速度を10 Gb/sに高速化した。

表 1 各キャンパスごとの AP 設置数の変化

キャンパス	2014 年度	2018 年度	2019 年度
戸畑	149	168	213
飯塚	95 (うち屋外用 2 台)	162 (うち屋外用 6 台)	217 (うち屋外用 6 台)
若松	37	38	40
全キャンパス合計	281	368	470

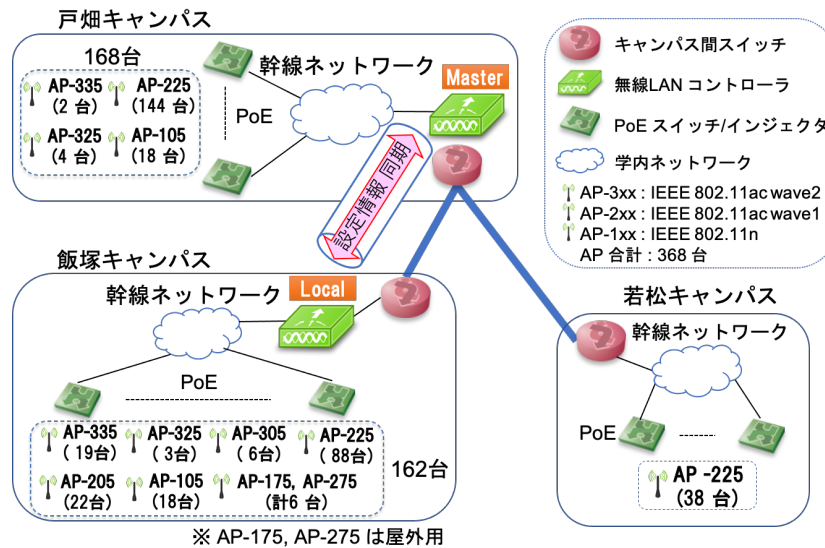


図 1 無線 LAN 構成図 (更新直前)

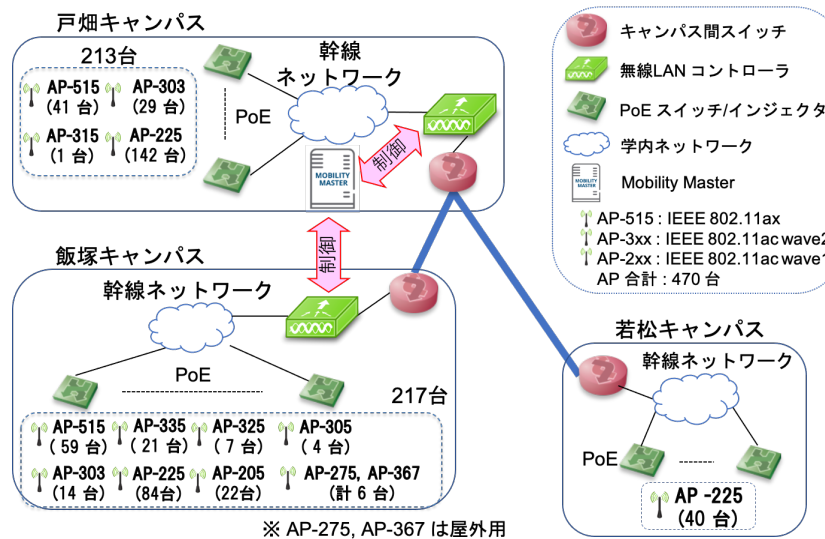


図 2 無線 LAN 構成図 (更新後)

なお、新規導入した PoE Switch は IEEE 802.3bz[14] にも対応する機材を選定した。IEEE 802.3bz は Category 5e の UTP ケーブルに対しては 2.5 Gb/s, Category 6 では 5 Gb/s の伝送速度を提供する規格である。無線 LAN の高速化に伴い、AP から 1 Gb/s を超えるトラフィックが送

受信される可能性があるため [15], 2.5 ないし 5 Gb/s を提供する IEEE 802.3bz は PoE Switch と AP 間的高速化手法として注目されている。

今回新規導入した IEEE 802.11ax 対応 AP は IEEE 802.3bz に対応しており、将来的には電波環境が良好な一

部講義室でチャンネルボンディングを活用して通信速度を高速化することを検討している。そこで AP を新設する箇所は全て Category 6 の UTP ケーブルで配線した。ただし、導入した PoE Switch では IEEE 802.3bz に対応するのは全体の半分のポートであった。よって Switch 交換時の混乱を避けるために同じポートへの配線替えを行った結果、必ずしも全ての IEEE 802.11ax 対応 AP が IEEE 802.3bz 対応ポートに収容できたわけではなかった。この点は、今後ポートの交換などにより整理していく予定である。

2.3 トラフィック制御

改善策 (4) 講義に直接関係しないトラフィック制御は、無線 LAN コントローラとセキュリティ製品のファイアウォール機能を利用した。講義には直接関係しない動画やゲームなどのアプリケーションを指定して講義時間帯の使用を制限すると共に、OS やアプリケーションアップデートのトラフィックも帯域制限を実施している。トラフィック制御は内容を随時見直して必要な修正を行っていく予定である*1。詳細は [3]5 節を参照されたい。

3. 無線 LAN 利用状況

本節では利用者数や接続端末数から全体の利用動向を述べる。端末が学内の無線 LAN の電波を受信し認証を経て無線 LAN 接続に成功すると、無線 LAN コントローラは時刻と接続先 AP, SSID (Service Set Identifier) とユーザ名, MAC address を log に出力する。そこでこの log から適切な IP address を DHCP より取得したもののみを抽出し、システム更新前後で比較することで利用状況を分析する。

3.1 利用者数と接続端末数の年度毎の変化

年度ごとのユニークな利用者数と接続端末数を SSID ごとに表 2 に示す。表 2 の学内用は全キャンパスで提供 (若松キャンパスのみ 2018 年 4 月から) しており、利用者は自身の学内統合 ID による IEEE 802.1X 認証を経て無線 LAN に接続する。若松キャンパス用は若松キャンパス専用で独自アカウントでの接続となる。eduroam[16]、学外者用は学会などの一時的な訪問者用で、eduroam のアカウントを持たない訪問者向けに学外者用アカウントを発行し、コントローラが提供する web 認証により無線 LAN 接続を提供している。

表 2 より 2019 年度の学内用 SSID 利用者を 2018 年度と比較すると、利用者は約 350 名、端末は約 1080 台増加しているが、増加分としては他の年度間と比較して最も少なくなっている。本学で学生と教職員に発行している学内ア

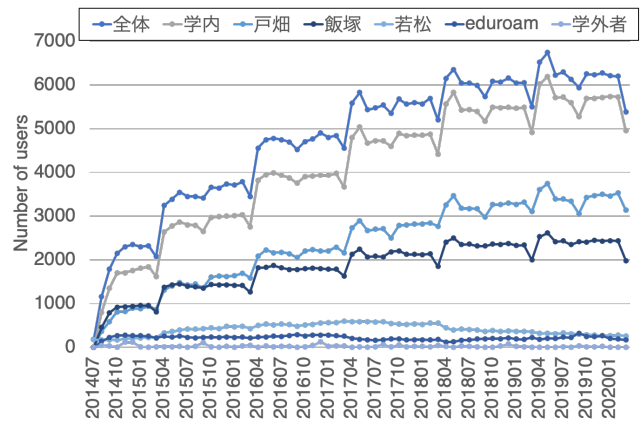


図 3 利用者数の推移 (2014 ~ 2019 年)

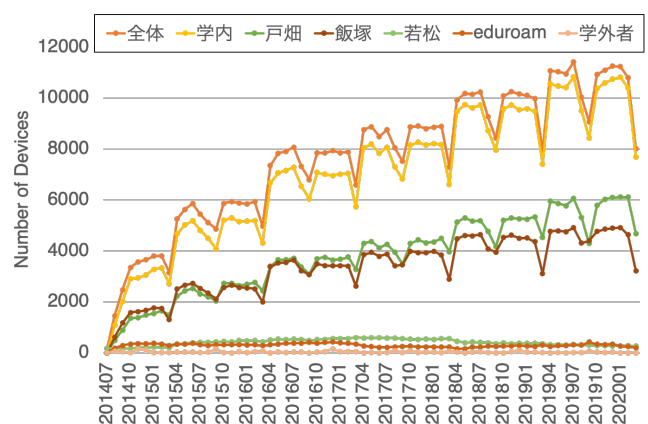


図 4 接続端末数の推移 (2014 ~ 2019 年)

カウント (無線 LAN 接続に使用) は約 7100 であるのに対して 2019 年度の学内利用者数は 6886 名 (約 97%) であり、ほぼ全ての教員や学生が無線 LAN を利用できる環境にあると考えられる。また、全接続端末数を全利用者数で割った平均利用端末数は約 2.2 台であった。この点は 3.2 節でより詳細に調査する。

次に、2014 年 9 月から各月の利用者数の平均 (その月のユニークな利用者数を暦日数で除して算出) を図 3、利用端末数の平均 (その月のユニークな端末数を暦日数で除して算出) を図 4 に示す。両図より、例年と同様、2019 年度も長期休暇期間である 8、9 月や、学生卒業後の 3 月には利用者数、接続端末数共に減少している。また利用者数は 2016 年頃から、接続端末数は 2017 年頃から戸畑と飯塚キャンパスの差が拡大している。これは元々学生数が多い戸畑キャンパスで無線 LAN の利用が浸透した結果であると考えられる。

3.2 平均利用端末数

前節の表 2 で示した通り、全体のユニークな利用者数と接続端末数から算出した利用端末数の平均は約 2.2 台であった。この数値は年度内に使用された全ての端末を含ん

*1 コロナ禍で利用が一気に進んだビデオ会議アプリケーションを無線 LAN 経由でも利用できるようにするためには、コントローラ のファイアウォールの設定変更が必要であった。

表 2 各 SSID 利用者数と接続端末数 (年度ごと)

年度	学内用		若松キャンパス用		eduroam		学外者		全体	
	利用者数	端末数	利用者数	端末数	利用者数	端末数	利用者数	端末数	利用者数	端末数
2014	2036	4966	372	372	431	631	341	411	3180	6165
2015	3542	9555	773	773	646	882	309	386	5270	11186
2016	4597	12471	973	973	708	1018	345	428	6623	14424
2017	5872	14420	1152	1152	614	772	256	323	7894	16072
2018	6513	16348	762	762	844	1152	203	261	8322	17938
2019	6886	17460	548	548	998	1414	101	141	8533	18994

であり、イベント等による一時的な使用や機種変更した場合も新旧端末双方が含まれることになる。そこで月ごとに利用端末数の平均を求めてから年度の利用端末数の平均を算出したものを図5に示す。図5より、情報系科目が多い飯塚キャンパスの方が利用端末数の平均が多い傾向は変わらず、2019年度の飯塚キャンパスで1.9台、戸畑キャンパスでは1.65台、学内全体で1.78台であった。なお、2016年は飯塚キャンパスで一時的に多数の端末を使用する利用者が複数存在したため、利用端末数の平均が上昇している。

また2018年度と比較して2019年度はいずれも約5%増加しており、複数台の接続が増えていることがわかる。この増加をより詳細に調査するため、2018、2019年度の利用者が利用したユニークな端末数の度数分布と累積比率をキャンパスごとにそれぞれ図6、7に示す。両図より年度間で比較すると、更新後は両キャンパス共に1台だけ接続した利用者が減少し、2台以上接続している利用者が増加していることがわかる。

ただし、利用端末数の集計には認証時に出力される mac address を利用しており、今後プライバシー強化の観点から iOS や Android, Windows など無線 LAN 接続時の mac address ランダム化が本格的に導入されると、実際の利用台数を把握することは困難になる。利用端末数の平均は AP 増強を検討する際の重要な指標でもあるので、今後の技術動向を注視していく必要がある。

以上の結果から、利用者数は教職員と学生の合計数と同程度までに増加しているの、学内で学生や教職員が滞在するいずれかの箇所で無線 LAN 接続環境を提供できていること、また利用者1人あたりの利用端末数の平均は増加傾向にあることがわかる。

4. 無線 LAN システム改善策の検証

本節では更新時に行った改善策の効果を、更新前後の利用状況を比較することで検証する。

4.1 AP 増設による負荷軽減

1節で述べた改善策(1)平均利用端末数の増加を見越して行った AP の増設の効果を検証するため、まずは図8に年度ごとに集計した AP あたりの利用者数の平均を示す。

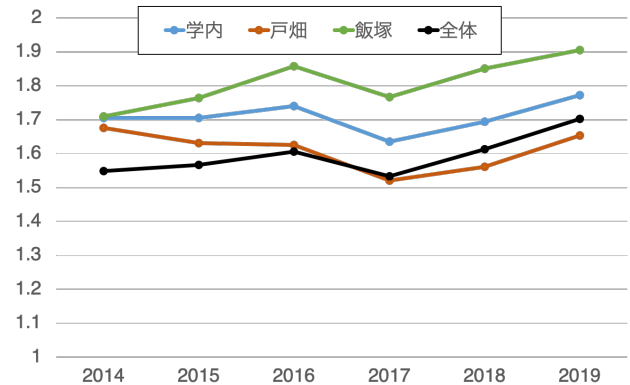


図 5 利用端末数の平均 (2014 ~ 2019 年)

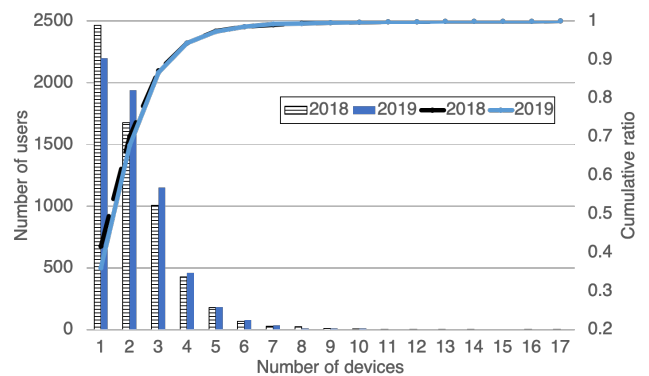


図 6 利用端末数の度数分布と累積比率 (戸畑キャンパス, 2018, 2019 年)

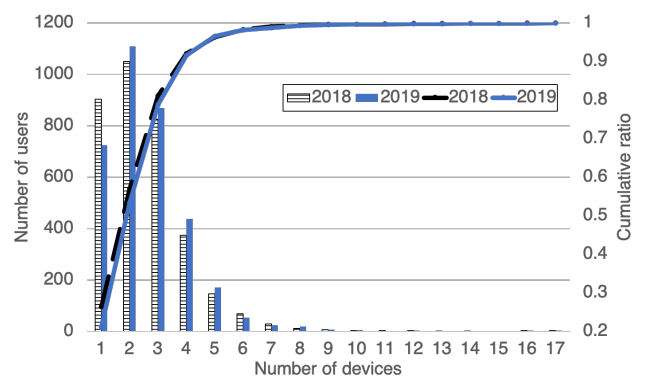


図 7 利用端末数の度数分布と累積比率 (飯塚キャンパス, 2018, 2019 年)

図 8 より 2019 年度の AP あたりの利用者数の平均は戸畑キャンパスで 70.1 人、飯塚キャンパスで 77.9 人であり、前年よりそれぞれ約 1 割軽減できている。

さらに詳しく調査するため、図 9、10 に 2018、2019 年度の月ごとの AP あたりの利用者数の平均をキャンパスごとに示す。両図より、更新後の 2019 年 10 月から利用者数の平均は大きく低下していることがわかる。10 月からの半年間を前年と比較すると、戸畑キャンパスでは 21 %、飯塚キャンパスでは 25 % 以上減少していることがわかった。

次に、更新前後で AP あたりの利用者数がどのように変化したのかを比較するため、図 11 に更新前の 2019 年 4 月からの 4 ヶ月間と、更新後の 2019 年 10 月からの 4 ヶ月間の AP におけるユニークな利用者数の度数分布を示す。また更新前後で全 AP 数が変化しているため、図 12 にユニークな利用者数の累積比率を示す。両図より、更新前と比較して更新後は AP あたりの利用者数を軽減できていることがわかる。特に図 11 より更新前は AP の最大利用者数は 860 を超えていたが、更新後は 620 と約 30 % 減らすことができています。

以上の結果から、更新後は AP あたりの利用者数の平均は減少しており、AP 増設により接続が分散して負荷が軽減できていることが確認できた。但し 3.2 節で述べたように利用端末数の平均は増加していることから、今後も特定の AP に負荷が集中することがないように注視していく必要がある。

4.2 IEEE 802.11ax 対応機材の利用率

今回の更新では 2.1 節で述べたように、改善策 (1)、(2)、(5) に基づき利用動向調査から利用負荷が高いと想定される講義室を中心に IEEE 802.11ax を 100 台導入した。この内、戸畑キャンパスの IEEE 802.11ax 対応 AP の割合は約 19 % (41 / 213 台)、飯塚キャンパスは約 27 % (59 / 217 台)、全台では 21 % (100 / 470) である。本節では改善策の狙い通り、実際に利用者が多い箇所に IEEE 802.11ax 対応 AP を設置できているかどうかを検証する。

1 日の全利用者の内 IEEE 802.11ax 対応 AP に接続したユニークな利用者の割合を算出し、月ごとの平均を取ったものを図 13 に示す。図 13 より、2019 年 10 月からの半年で戸畑キャンパスでは 50 % 以上が、また飯塚キャンパスでは 60 % 以上の利用者が 1 日に 1 回以上 IEEE 802.11ax 対応 AP に接続していることがわかる。

この結果から、IEEE 802.11ax 対応 AP に接続する利用者の割合は、戸畑、飯塚キャンパス共に設置されている割合を大幅に上回っている。また全利用者の半分は IEEE 802.11ax 対応 AP に接続しており、全台に対する設置率が全体で 21 % であることを踏まえると、今回の更新では IEEE 11ax AP を効率的に配置できたと考えられる。

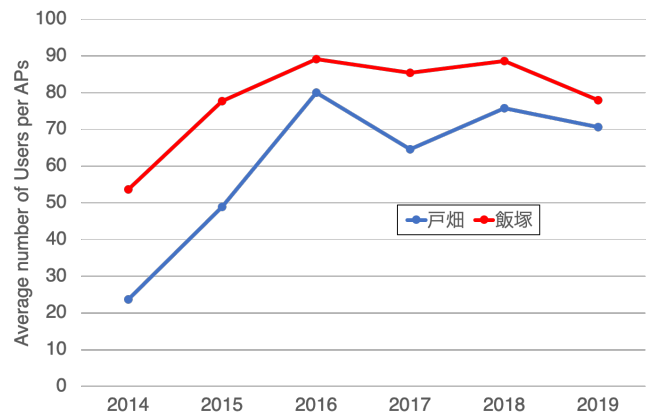


図 8 AP あたりの利用者数の平均 (2014 ~ 2019 年)

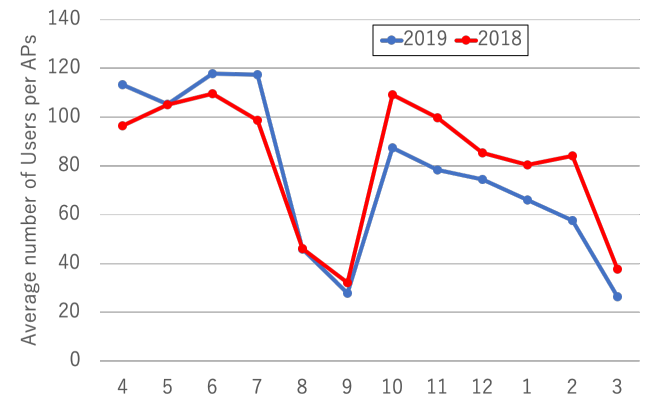


図 9 月ごとの AP あたりの利用者数の平均 (戸畑キャンパス)

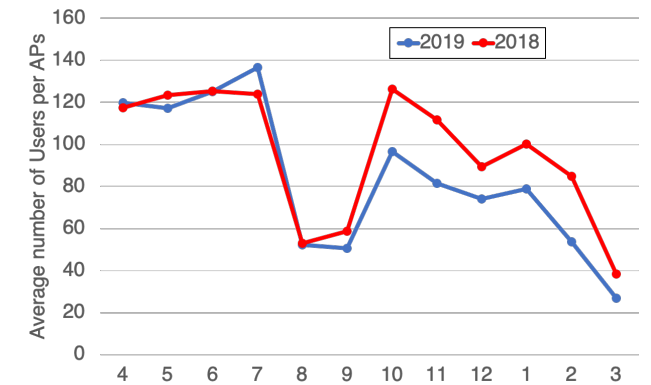


図 10 月ごとの AP あたりの利用者数の平均 (飯塚キャンパス)

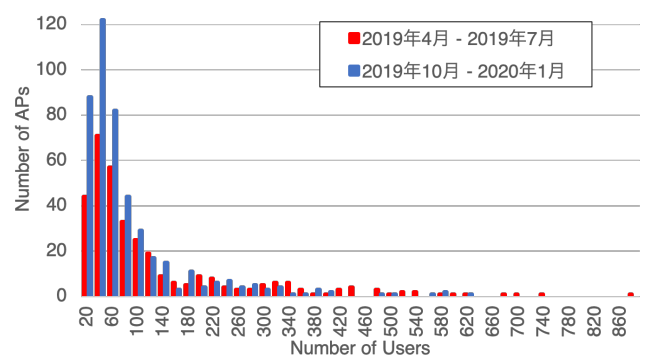


図 11 利用者数の度数分布 (学内用無線 LAN)

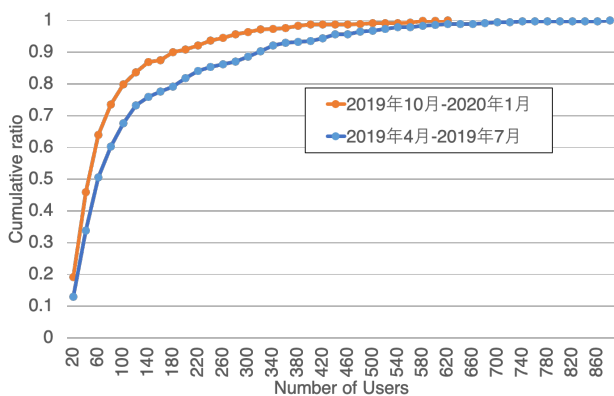


図 12 利用者数の累積比率 (学内用無線 LAN)

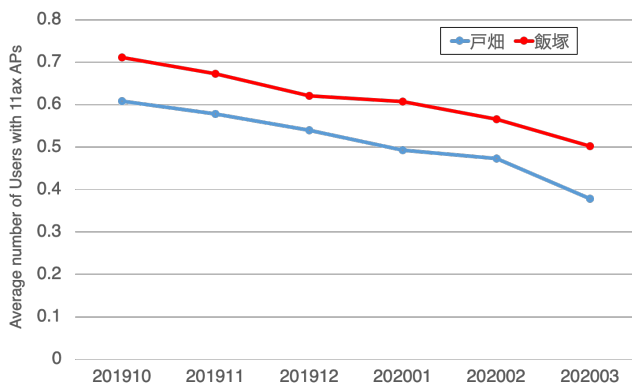


図 13 IEEE 802.11ax 対応 AP の利用率

5. まとめ

本稿では九州工業大学が 2019 年 9 月に行った全学セキュア・ネットワークの無線 LAN システムの更新と、その改善策の効果について述べた。2 節では利用動向調査に基づく 5 つの改善策を具体的にどのように更新に反映させたのかを説明した。続く 3 節では 2019 年度の無線 LAN の利用動向を調査し、利用者数が学生と教職員に発行している学内アカウントの約 97% に達していることから、学内で学生や教職員が滞在するいずれかの箇所で無線 LAN 接続環境を提供できていること、また利用端末数の平均は増加傾向にあることを示した。続いて無線 LAN システムの改善策の効果を検証するため、AP の負荷と IEEE 802.11ax 対応機材の利用率について調査した。更新後は AP あたりの利用者数の平均が減少していることから、AP 増設により接続が分散して負荷を軽減できたことを明らかにした。さらに全利用者の半分は IEEE 802.11ax 対応 AP に接続しており、全台に対する IEEE 802.11ax 対応率が 21% であることを踏まえると、効率的に配置できたと考えられることができる。以上の検証結果より、今回の更新における改善策は効果的であったと言える。今後の課題としては、mac address ランダム化への対応や BYOD 本格導入に向けた円滑な講義環境の提供がある。特に後者は利用端末数の平

均が増加していることもあり、トラフィック制御やチャネルボンディングなども活用した運用を行っていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K11769 の助成を受けたものである。また、本稿をまとめるにあたっては本学飯塚キャンパス技術部職員の富重秀樹氏に協力いただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 中村 豊, 佐藤 彰洋, 福田 豊, 和田 数字郎, 岩崎 宣仁: 九州工業大学における全学セキュア・ネットワークの更新 (2019 年度における更新について), 情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会), Vol. 2020-IOT-48, No. 28, pp. 1-6 (2020).
- [2] 大橋 健, 甲斐 郷子, 久代 紀之, 鶴 正人: 九州工業大学におけるノートパソコン必携化について, 九州工業大学情報科学センター広報 第 30 号, 2019.03.
- [3] 福田 豊, 中村 豊, 佐藤 彰洋, 和田 数字郎: 九州工業大学全学ネットワークの更新に向けた無線 LAN 利用動向調査, 情報処理学会 デジタルプラクティス, Vol.11, No.3, pp.636-656 (2020).
- [4] IEEE: IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment Enhancements for High Efficiency WLAN, IEEE (2020).
- [5] IEEE: IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks– Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications–Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, IEEE 802.11ac-2013 (2013).
- [6] Aruba: Aruba 510 Series (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/wireless/access-points/indoor-access-points/510-series/>) (accessed 2020-11-09).
- [7] Aruba: Aruba 310 Series (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/wireless/access-points/indoor-access-points/310-series/>) (accessed 2020-11-09).
- [8] Aruba: Aruba 303 Series (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/wireless/access-points/indoor-access-points/303-series/>) (accessed 2020-11-09).
- [9] Aruba: Aruba 360 Series (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/wireless/access-points/outdoor-ruggedized-access-points/360-series/>) (accessed 2020-11-09).
- [10] Aruba: Aruba 7210 Specification (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/wireless/gateways-and-controllers/7200-series/>) (accessed 2020-11-09).
- [11] Mobility Master: Aruba Mobility Master (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/ja/products/networking/controllers/mobility-master/>) (accessed 2020-9-2).
- [12] AirWave: Aruba AirWave (online), available from

- (<https://www.arubanetworks.com/ja/products/networking/management/airwave/>) (accessed 2020-9-2).
- [13] 福田 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋: BYOD による講義を想定した無線 LAN 通信実験, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 3, pp. 758–767 (2019).
- [14] IEEE: IEEE Standard for Ethernet Amendment 7: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 2.5 Gb/s and 5 Gb/s Operation, Types 2.5GBASE-T and 5GBASE-T, IEEE 802.3bz-2016 (2016).
- [15] 福田 豊, 中村 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋: IEEE 802.3bz Switch を用いた無線 LAN 通信実験, インターネットと運用技術シンポジウム論文集 (IOTS2018), Vol. 2018, pp.48–53 (2018).
- [16] eduroam : eduroam (online), available from (<https://www.eduroam.org>) (accessed 2020-11-09).