



## 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 利用について<sup>1</sup>

福田 豊<sup>2</sup>  
中村 豊<sup>3</sup>  
佐藤 彰洋<sup>4</sup>

### 1 概要

九州工業大学では 2014 年 9 月に全学セキュアネットワークを更新し、戸畑、飯塚、若松、及び福岡天神サテライトキャンパスに IEEE 802.11ac に対応した集中管理型無線 LAN システムを導入しました。そこで本稿では現在の利用状況の検証と、IEEE 802.11ac 本格展開に向けたチャネル使用状況について報告します。

### 2 はじめに

九州工業大学では 2014 年 9 月に全学セキュアネットワークを更新し、戸畑、飯塚、若松、及び福岡天神サテライトキャンパスに IEEE 802.11ac[1] に対応した集中管理型無線 LAN システムを導入しました [2, 3]。この導入では、以下の 6 つを要件としました。

1. IEEE 802.11ac の導入
2. 無線 LAN エリアの拡充
3. コントローラの集約と冗長構成化
4. PoE (Power Over Ethernet) 全面導入
5. 無線 LAN 統合管理システムの導入
6. 認証システムの導入

本要件は、本学無線 LAN の一元化を進めることで、投資効率を高めつつ安全かつ将来的な高速化の要求に対応可能なネットワーク接続手段を提供することを目的としていました。このうち、通信速度の高速化のため、規格が定める通信速度では最大 6.9 Gb/s (物理層) を達成する IEEE 802.11ac に対応する機材を選定しました。

この IEEE 802.11ac 導入により Gb/s を超える高速通信を提供できる環境を整えることができましたが、一方で本学では依然として全学セキュアネットワーク・無線 LAN を利用できない箇所が多数残っていました。そこでこれまでは通信速度の高速化よりも、まずはエリアの拡大を優先させてアクセスポ

<sup>1</sup>本稿は平成 27 年度第 4 回 (IOT 通算 32 回) 研究会発表原稿を基にしています。

<sup>2</sup>情報科学センター 助教 fukuda@isc.kyutech.ac.jp

<sup>3</sup>情報科学センター 准教授 yutaka-n@isc.kyutech.ac.jp

<sup>4</sup>情報科学センター 助教 satoh@isc.kyutech.ac.jp

表 1: 各キャンパスごとのアクセスポイント設置数

キャンパス	2014 年度	2015 年度
戸畑	138	153
飯塚	78 (うち屋外用 1 台)	99 (うち屋外用 2 台)
若松	37	37

イントの増設を進めてきました。よって、現状の設定チャンネル幅は 20 MHz であり、最高通信速度は約 300 Mb/s (IEEE 802.11ac の場合)にとどまっています。

しかし無線 LAN 更新から 1 年半が経過し、アクセスポイントの増設が進んで利用可能場所が増えてきたため、将来の高速通信化に備えて現在の利用状況を調査し、チャンネル設定も含めた今後の運用方針を検討する事にしました。特に利用動向に基づく円滑な運用や高速化に向けたチャンネル使用状況の把握を念頭に置き、提供する無線 LAN システムにおける利用者数や一人当たりの接続端末数、端末種類や隣接アクセスポイント数等を含む様々な利用状況について調査しました。その結果、本学における無線 LAN の利用が面的にも量的にも深く浸透していることを確認でき、また IEEE 802.11ac チャンネルボンディング導入に向けた無線チャンネル利用状況に関する知見も得られました。

以降、2 節では運用中の無線 LAN システムについて、3 節で利用状況、4 節では今後の課題について述べ、最後に 5 節でまとめます。

### 3 無線 LAN システム概要

本学で稼働中の無線 LAN システムを図 1 に、アクセスポイント設置数を表 1 に、また、各キャンパスでサービスしている SSID を表 2 に示します。

コントローラは戸畑・飯塚両キャンパスに設置し、それぞれのキャンパス間スイッチと 10 GBASE-SR で接続しています。また耐障害性向上のためコントローラ間で冗長構成を組み、若松キャンパスは戸畑キャンパスのコントローラに、天神サテライトキャンパスは飯塚キャンパスのコントローラに収容しています。各アクセスポイントは設置箇所に応じて PoE スイッチか PoE インジェクタに接続しています。各アクセスポイントの使用チャンネルや電波出力はコントローラにより自動制御されており、無線 LAN 全体の運営管理には、コントローラの統合管理ソフトも活用しています。

表 1 に示すように、現在本学で稼働中のアクセスポイントは 289 台<sup>5</sup>です。2014 年度と比較して、2015 年度にはアクセスポイント数が戸畑で 15 台、飯塚で 21 台<sup>6</sup>、合計 36 台増加しています。

学内用 SSID は、全キャンパスの 2.4 GHz 帯で eduroam[4] を、若松キャンパスのみ 2.4 GHz/5GHz 共有の固有 SSID を、その他のキャンパスでは 2.4 GHz 帯と 5 GHz 帯で個別の SSID を提供しています。また、飯塚・戸畑キャンパスでは学外者用の SSID を準備し、申請に応じて設定しています。

学内の利用者は、自身の学内統合 ID による IEEE 802.1X 認証を経て無線 LAN に接続しています。一方、学外利用者には申請に応じて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 接続を制御しています。

<sup>5</sup>原稿執筆時点 (2016 年 1 月)

<sup>6</sup>2015 年度終わりまでにさらに 25 台増設予定

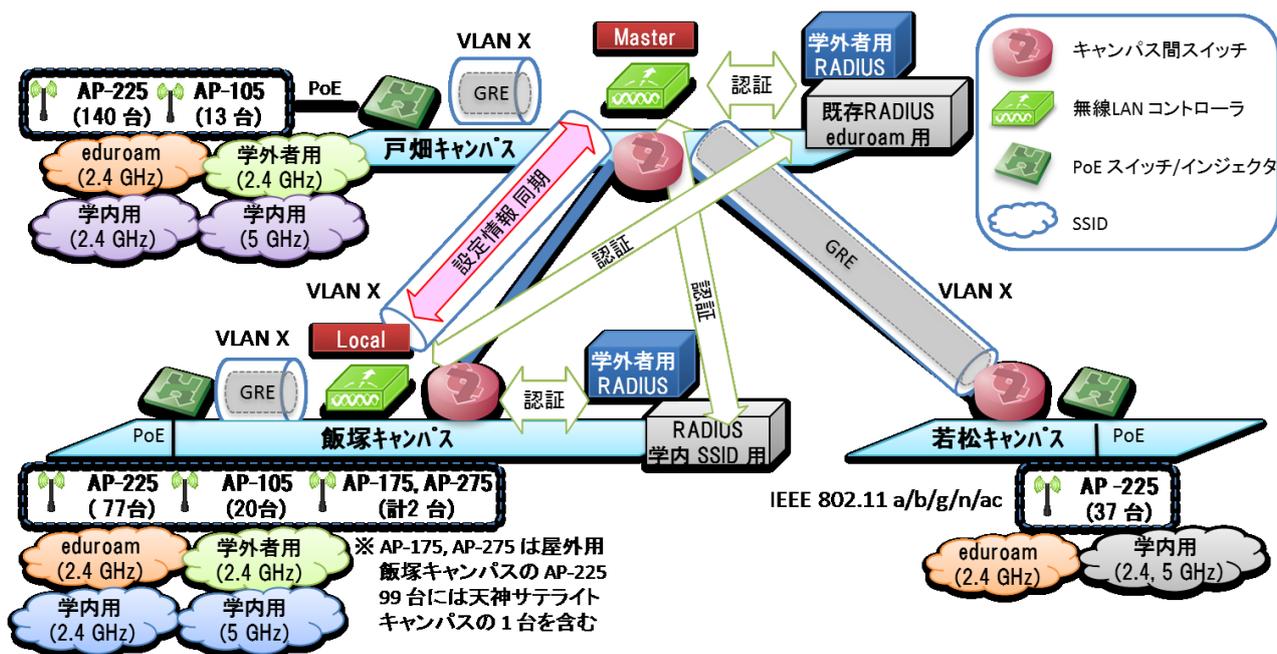


図 1: 無線 LAN システム構成図 (2015 年現在)

表 2: 各周波数帯の SSID, 認証, ネットワークアドレス

キャンパス	用途	周波数帯	認証	ネットワークアドレス
戸畑	学内用	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/20 を 2.4 GHz 用と 5 GHz 用の SSID で共用
		5 GHz		
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用
	学外利用者用	2.4 GHz	web 認証	/24 を使用
飯塚	学内用	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/20 を 2.4 GHz 用と 5 GHz 用の SSID で共用
		5 GHz		
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用
	学外利用者用	2.4 GHz	web 認証	/24 を使用
若松	学内用	2.4 GHz	mac アドレス認証	/24 を使用
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用

## 4 利用状況

本節では、取得した log 情報等から以下の 3 つに分けて利用状況を述べます。(1) 月や年度毎の利用者数等、無線 LAN システム全体 (3.1 節)、(2) 一人当たりの利用端末数等、利用動向に関する情報 (3.2 節)、(3) 無線チャネルの使用情報 (3.3 節)。

表 3: 各年度における利用者情報

年度	学内用 SSID		eduroam		学外者	
	利用者	端末数	利用者数	端末数	利用者数	端末数
2014	3182	6180	431	704	341	452
2015	4949	10083	568	935	223	302

#### 4.1 無線 LAN システムの利用情報

まず最初に無線 LAN システム側から捉えた利用情報について分析します。2014 年度 (2014 年 7 月 ~ 2015 年 3 月), 及び 2015 年度 (2015 年 4 月 ~ 12 月) の利用者数と個別端末数を表 3 に示します。同じ月数ではありませんが、2015 年度と 2014 年度を比較すると利用者数は 1.55 倍、端末数は 1.63 倍に増加しています。さらに、2015 年度の利用者の内、学外利用者を除外すると合計利用者数は 4158 人であったので、現在本学で発行している統合 ID 数 6864 (学生、職員含む) で割ると、無線 LAN 利用率は 60.58% でした。一方で 2014 年度の一人当たりの平均利用端末数は 1.94 台/人、2015 年度は 2.0 台/人でした。一人当たりの利用端末数の詳細については、3.2 節でさらに調査します。

続いて、各月の一日の平均利用者数を図 2 に、平均接続端末数を図 3 に示します。2014 年 7 ~ 9 月は移行期間であったため、図 2 より 10 ~ 12 月の平均利用者数で比較すると、2015 年 10 月は前年同月比 1.86 倍、11 月は同 1.94 倍、12 月は同 1.83 倍であり、図 3 でも同様の傾向を確認できました。表 3 では利用者数の増加は 1.55 倍でしたが、前年同月比ではそれを上回る増加を確認できました。こうした利用の増加はアクセスポイント数の追加設置により利用エリアが広がったこと、また無線 LAN 利用の浸透が進んでいるためだと考えられます。また、2015 年度の各キャンパスごとの平均利用者数を図 4 に、平均接続端末数を図 5 に示します。キャンパス規模は戸畑キャンパスの方が大きいのですが、両図より、4 月のみ飯塚キャンパスの方が利用者、端末数共に戸畑キャンパスを上回っています。これは情報工学部が設置されている飯塚キャンパスでは、新入生が無線 LAN を利用し始める時期が早いためでは無いかと考えられます。

次に、SSID ごとの平均利用者数 (学外者利用のみ実数) を図 6, 7 に示します。両図より、2.4 GHz 帯の SSID 利用者数が若干 5 GHz 帯の利用者数を上回っていますが、大きな偏りは無いことが分かりました。また、図 2 より 2015 年 10 月の平均利用者数は約 2000 人であるのに対して、図 7 より SSID の同月の平均利用者数を合計すると約 2500 人となりました。他の月でも同様に図 7 の平均利用者数の合計が図 2 の同月平均利用者数よりも多くなっていますが、これは利用者が 2.4 GHz 帯と 5 GHz 帯の SSID を併用しているためだと考えられます。また両 SSID で長期休暇期間中は利用者数が減少していますが、大学院のみの若松キャンパス用 SSID や、教員が主な利用者である eduroam では月ごとの変動が少ないことも分かりました。

最後に 2015 年度中のある時刻における端末種類を図 8 に示します。昨年度と同様 [3], iPhone/iPad/iPod が全体の半分近くを占めています。なお、現在では IEEE 802.11a/b/g のみに対応する端末の接続は殆ど無く、IEEE 802.11n 以上の規格へ移行が進んでいることが分かりました。

以上の結果から、昨年度から順調に利用者数は増加しており、IEEE 802.11n への移行が進んでいるが、2.4 GHz 帯と 5 GHz で利用者の大きな偏りは無いことが分かりました。

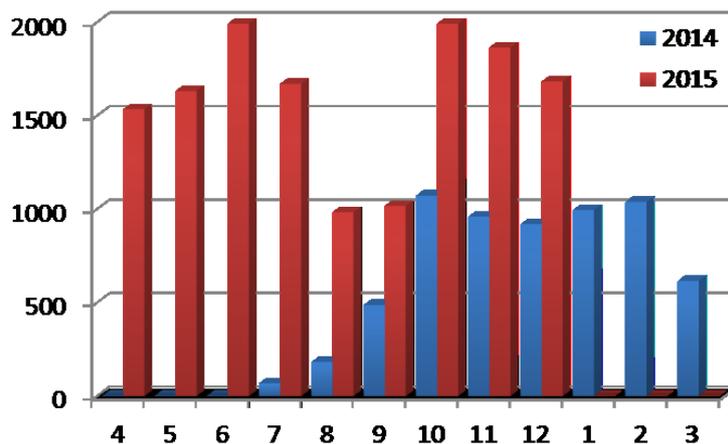


図 2: 平均利用者数 (2014, 2015 年度)

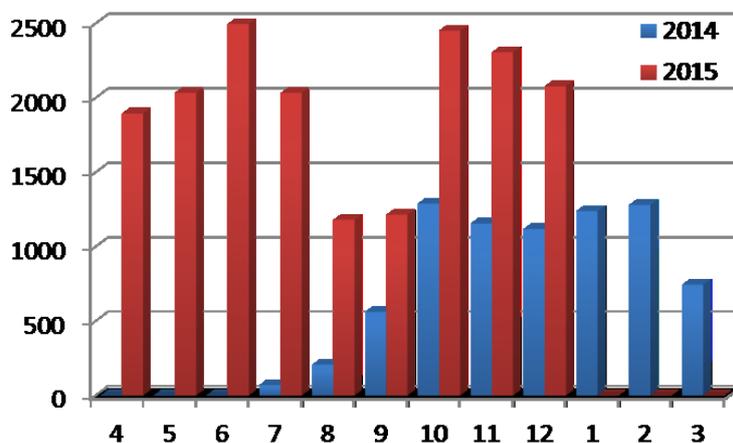


図 3: 平均接続端末数 (2014, 2015 年度)

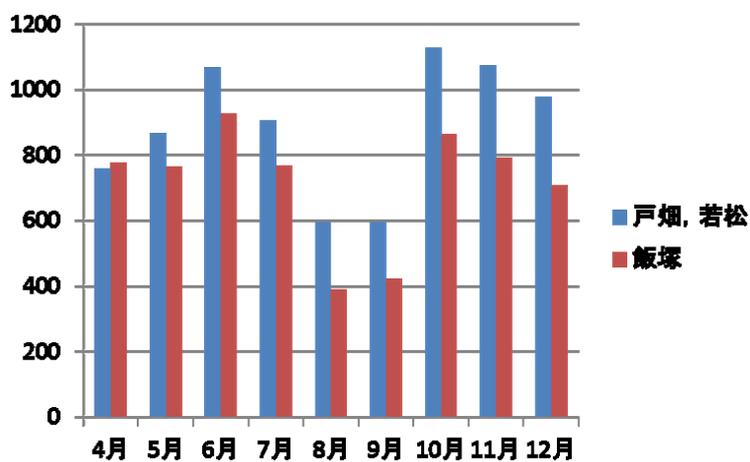


図 4: キャンパスごとの平均接続端末数 (2015 年度)

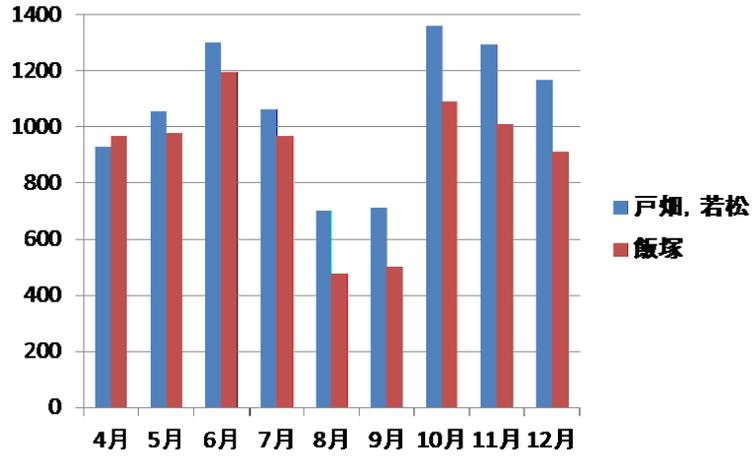


図 5: キャンパスごとの平均接続端末数 (2015 年度)

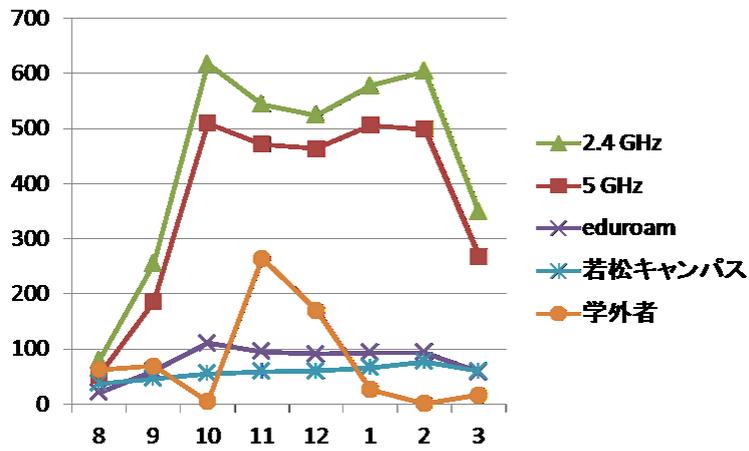


図 6: SSID ごとの利用者数 (2014 年度)

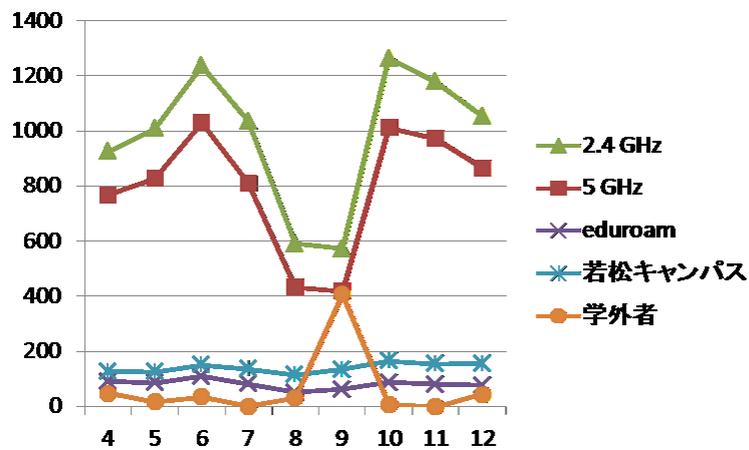


図 7: SSID ごとの利用者数 (2015 年度)

表 4: 平均利用アクセスポイント数とアクセスポイントの平均利用者数

年度	利用アクセスポイント数 [台]	利用者数 [人]
2014	13.12	64.70
2015	18.50	138.37

## 4.2 利用動向

本節では無線 LAN に接続する利用者の平均端末数など、利用者側の利用動向について分析します。まず表 3 より、2015 年度の一人当たりの利用端末数は 2.0 台/人でした。これはキャンパス内の利用観察からすると多いように思われたので、利用者数と端末数を月ごとに調査してみました。各年度の月ごとの利用者数と接続された個別の端末数を図 9, 10 に示します。図 9, 10 より、一人当たりの利用端末数は各月でばらつきはあるものの、約 1.2 台程度であることが分かります。表 3 では利用端末数が 2.0 台でしたが、これは年間を通して接続された個別の端末数を集計しており、イベントや研究活動等で一時的に利用される端末も含んでいるため、実際に利用されている端末数よりも大きくなったと考えられます。より詳細に調査するため、図 11, 12 から各年度ごとの利用端末数の分布を見てみると、端末 1 台の利用が全体の約 40%、端末 2 台までの利用で約 70% を占めることが分かりました。よって、常時利用されている平均利用端末数は図 9, 10 にあるように約 1.2 台程度であると考えられます。

続いて利用者が一日に接続する平均アクセスポイント数と各アクセスポイントに接続した平均利用者数を図 13, 14 に、またその年度ごとの平均を表 4 に示します。図 13, 14 より、アクセスポイントに接続する平均利用者数はこれまでの結果と同様、長期休暇期間等によって月ごとに大幅に変化しています。一方、一人の利用者が接続する平均アクセスポイント数は、アクセスポイントに接続する平均利用者数と比較して月ごとの変動幅は小さいことが分かりました。これは、無線 LAN 利用者がキャンパスで移動する範囲は、休暇時期に強く依存していないためではないかと考えられます。休暇時期でも大学に来る学生は、サークルの部室や生協、図書館や研究室など、授業期間中と同じ箇所を移動しているようです。この点は今後より詳細な調査を行う予定です。

また表 4 より、利用者が接続する平均アクセスポイント数は、2014 年度と比較して 2015 年度には 1.41 倍増えており、アクセスポイント増設による無線 LAN エリア拡大の効果が現れていると考えられます。同様に一台のアクセスポイントに接続する平均利用者数も 2014 年度から 2015 年度では 2.14 倍増加しています。よって、図 13, 14、および表 4 から無線 LAN 利用がエリアの面でも利用の面でも深く浸透し、情報への重要なアクセス手段となっていることが分かりました。

次に図 15 に各アクセスポイントの平均利用者数を昇順に並べたものを、表 5 に利用者数上位のアクセスポイントを示します。図 15 より、一日の平均利用者数が 400 を超えるアクセスポイントがあり、表 5 より生協など学生が滞留しやすい場所が該当することが分かります。なお、一日の累計最高利用者数は、戸畑キャンパスで 869 アカウント、飯塚キャンパスで 818 アカウントであり、何れも生協に設置したアクセスポイントで計測しました。

よってこうしたアクセスポイントでは、利用者収容の優先を念頭に隣接アクセスポイント数を考慮しながらアクセスポイントを新設したり、チャンネル設計を行っていく必要があります。

## 4.3 無線チャンネルの使用状況

本学の無線 LAN は IEEE 802.11ac に対応し Gb/s 以上の高速通信を提供可能ですが、これまでは無線 LAN エリアの拡大を優先させ、チャンネル幅は 20 MHz としてきました。現在日本国内で使用できる 5

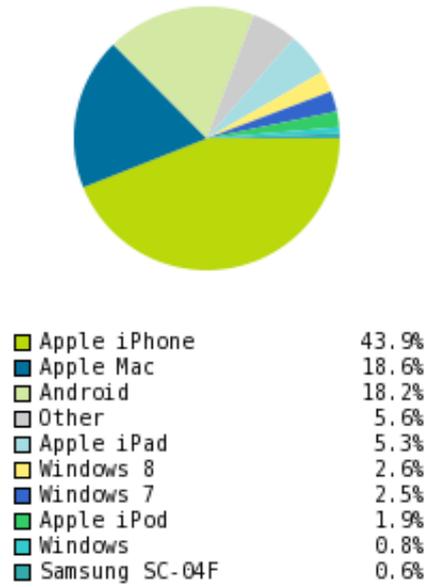


図 8: 端末種別

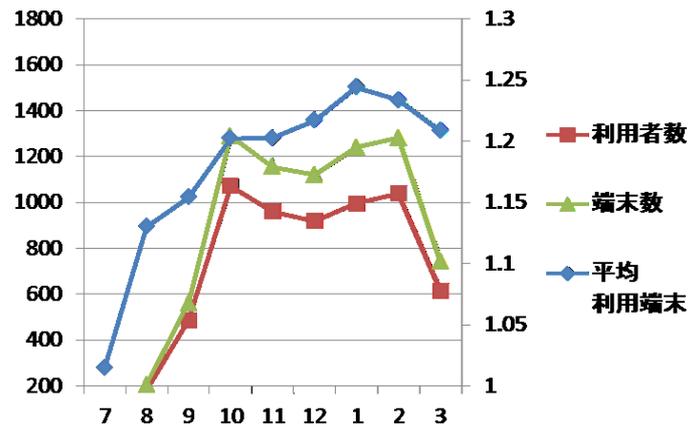


図 9: 利用者数と端末数 (2014 年度)

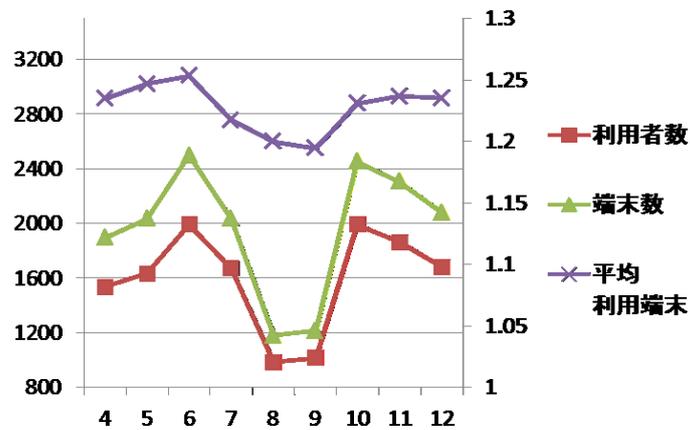


図 10: 利用者数と端末数 (2015 年度)

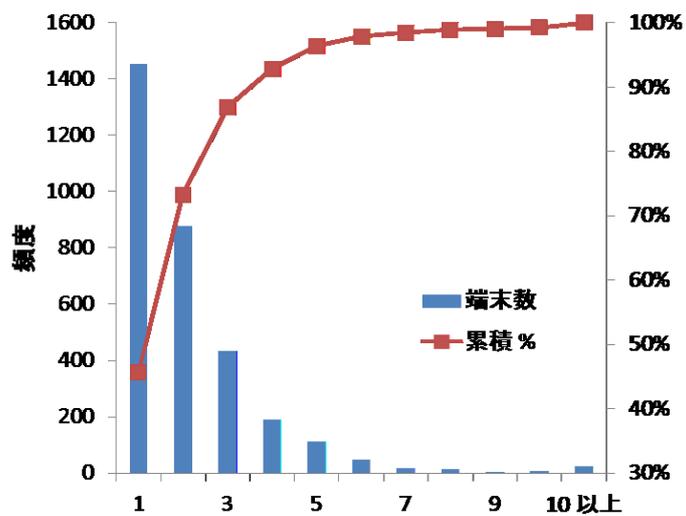


図 11: 端末数の分散 (2014 年度)

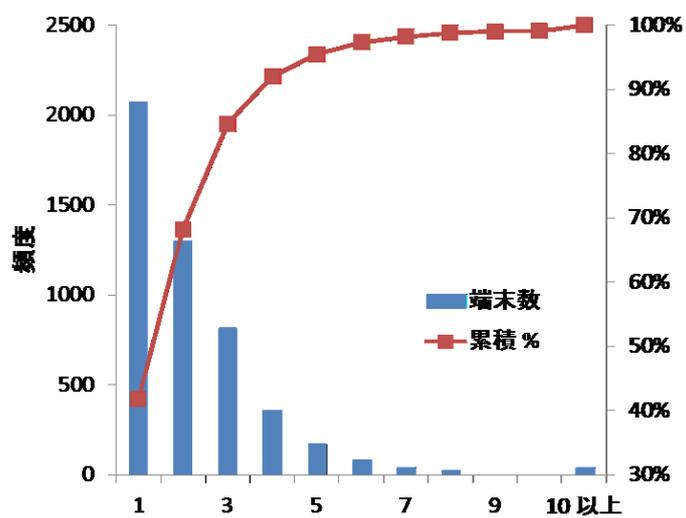


図 12: 端末数の分散 (2015 年度)

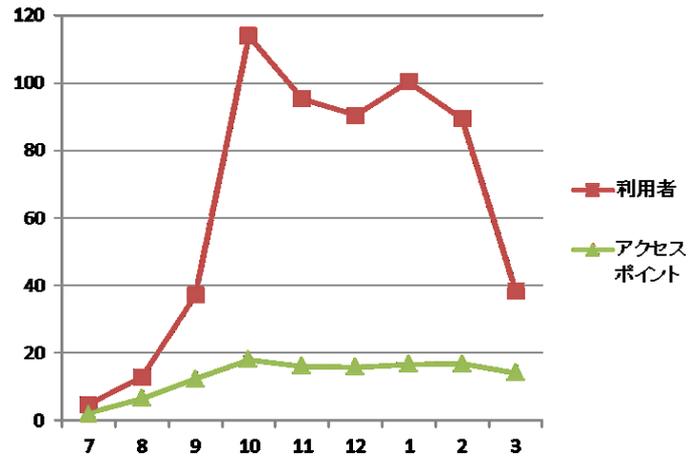


図 13: 平均接続アクセスポイント数と平均利用者数 (2014 年度)

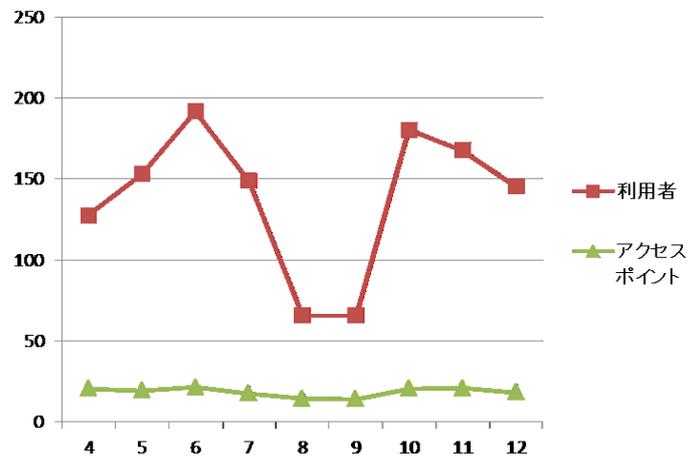


図 14: 平均接続アクセスポイント数と平均利用者数 (2015 年度)

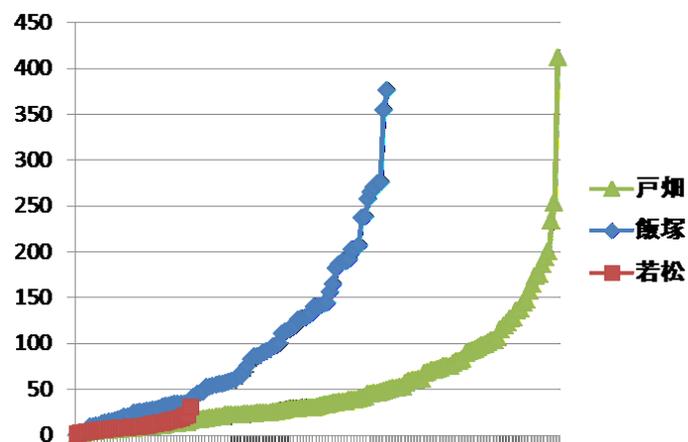


図 15: 各アクセスポイントの平均利用者数 (2015 年度)

表 5: 利用者数上位のアクセスポイント (2015 年度)

	戸畑	飯塚	若松
1	生協 1F	福利棟 1F 食堂	研究棟南 1F
2	総合教育棟 2F 教室	福利棟 1F ラウンジ	研究棟北 1F
3	総合教育棟 1F 教室	講義棟 2F 教室	研究棟北 6F
4	総合教育棟 2F 教室	共通教育棟 2F スペース	研究棟南 6F
5	総合教育棟 2F 教室	ラーニングアゴラ棟	研究棟北 2F
6	生協 2F	大講義棟 2F	研究棟北 5F
7	鳳龍会館	共通教育棟 1F ロビー	研究棟北 5F
8	図書館 2F	研究棟 1F 教室	研究棟北 2F
9	総合教育棟 2F 教室	保健室	研究棟南 5F
10	総合教育棟 1F 事務	研究棟 1F	研究棟南 7F

GHz 帯は図 16 に示すように W52, W53, W56 で、チャンネル幅を 20 MHz とするなら、重複せずに 19 チャンネルを割り当てることができます。一方、IEEE 802.11ac による高速通信を提供するためには、チャンネルボンディングにより 40 MHz や 80 MHz といったチャンネル幅が必要になり、重複を避けるなら 40 MHz 幅では 9 チャンネル、80 MHz 幅では 4 チャンネルしか確保できなくなります。よってアクセスポイントが密集しているところでは互いが干渉源となり、通信速度が低下してしまう可能性があります。

そこでまず、本学でこうしたチャンネルボンディングが可能かどうか、現状の無線 LAN システムの 5 GHz 帯において隣接アクセスポイント数を調査しました。2015 年度のある日時の各キャンパスにおける平均隣接アクセスポイント数と隣接アクセスポイント間でのチャンネル重複率を表 6 に、また各キャンパスの隣接アクセスポイント数の分布を図 17~19 に示します。表 6 より重複率はどのキャンパスでも 1% 以下であり、現状でチャンネル重複は殆ど発生していないことが分かります。実際、調査日に 19 台以上の隣接アクセスポイント数を計測したのは戸畑では 2 台、飯塚で 1 台のみであり、干渉になるような重複はほぼ発生していませんでした。

一方、平均隣接アクセスポイント数はいずれのキャンパスでも 9 以下であり、平均からするとどのキャンパスでもチャンネルの重複を避けながら 40 MHz のチャンネルボンディング (9 チャンネル) が可能だと言えます。しかしながら図 17~19 より隣接アクセスポイント数の分散を見てみると、隣接アクセスポイントが 10 台以上であるものが全体の 10~30% 程度存在しており、一律的な設定では干渉による通信性能の低下を招く恐れがあります。そこで例えば隣接アクセスポイント数が 9 以下のアクセスポイントのみに 40 MHz のチャンネルボンディングを適用すると、戸畑では約 85%、飯塚では 75%、若松では 60% のアクセスポイントで高速化できることになります。さらに隣接数が 4 以下であるアクセスポイントでは、80 MHz のチャンネルボンディングによる運用も可能であり、例えば戸畑では全体の約 45%、70 台のアクセスポイントで更なる高速化が実現できる見込みがあります。但し今回の調査結果は、研究室等によって設置された無線 LAN からの干渉を考慮していないので、今後他システムからの干渉も含めて検討を進めていく予定です。

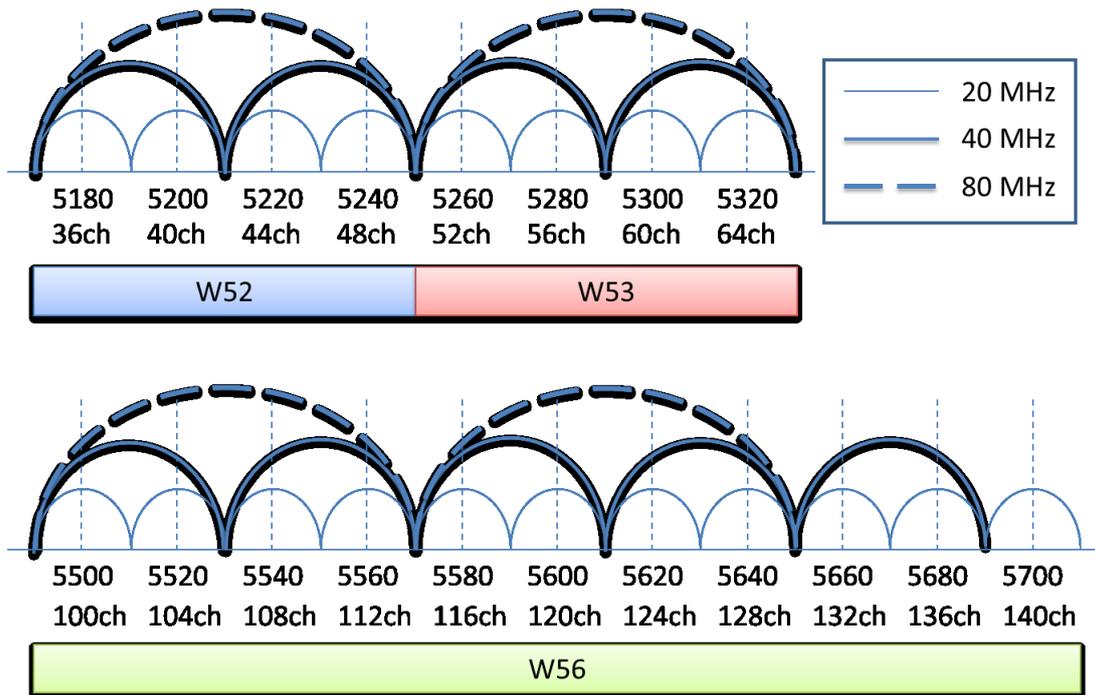


図 16: 5 GHz 帯

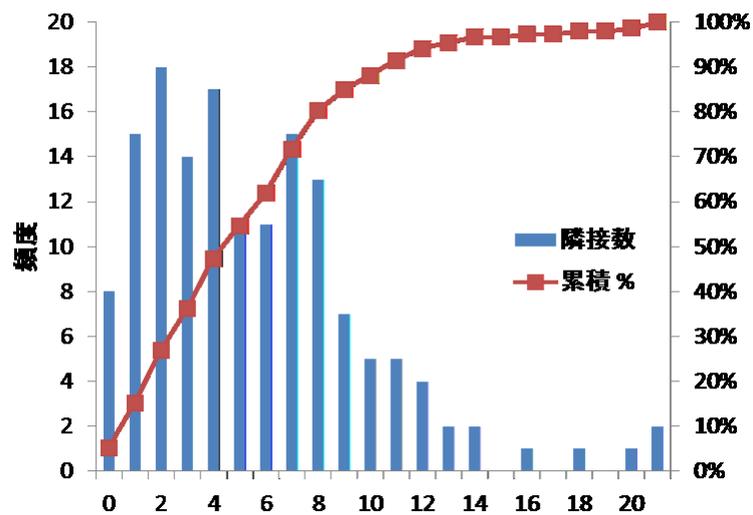


図 17: 隣接アクセスポイント数 (戸畑キャンパス)

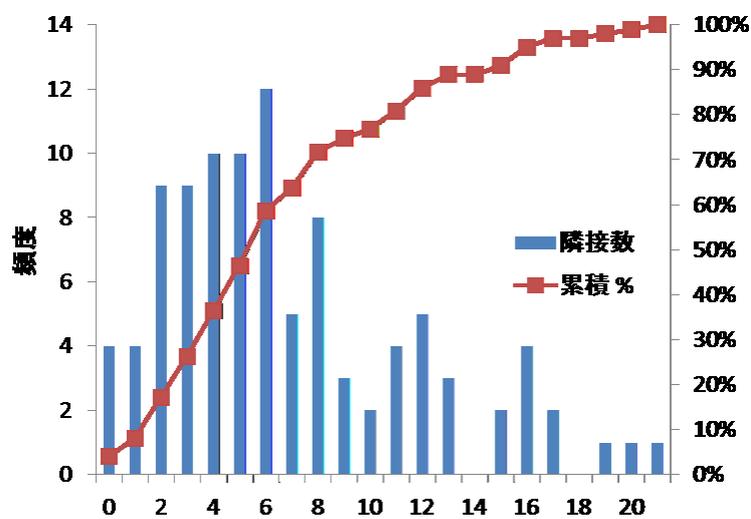


図 18: 隣接アクセスポイント数 (飯塚キャンパス)

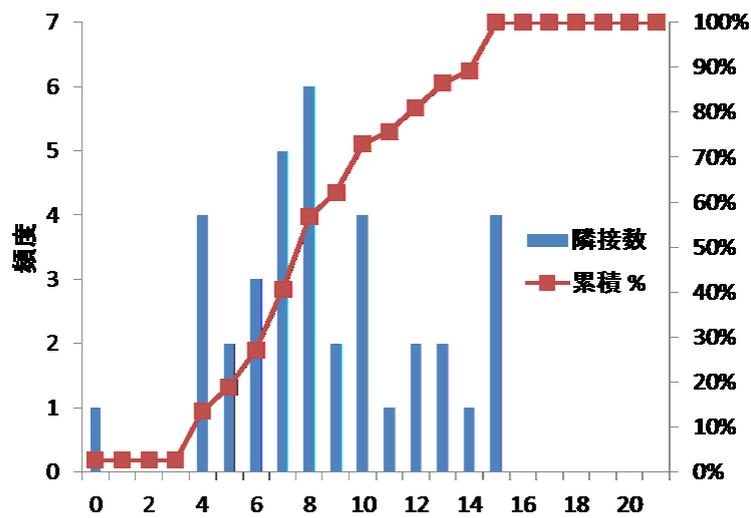


図 19: 隣接アクセスポイント数 (若松キャンパス)

表 6: 各キャンパスにおける平均隣接アクセスポイント数とチャンネル重複率

キャンパス	平均隣接 アクセスポイント数	チャンネル重複率 [%]
戸畑	5.67	0.24
飯塚	6.97	0.46
若松	8.65	0.62

## 5 今後の課題

前節の調査に基づき、以下の点が今後の課題として上げられます。

### 無線 LAN 設定の見直し

今回の調査で、IEEE 802.11 a/b/g のみに対応する端末の接続が殆ど無いことが分かりました。そこで IEEE 802.11n 以降の端末のみを前提として、提供する通信速度等の設定を見直し、実行スループットの改善を目指します。

### 負荷分散

アクセスポイントの平均利用者数の調査から、生協など学生が滞留する一部のアクセスポイントで利用者の集中が発生していることが分かりました。よって、これまでは主にエリア拡大を目指してアクセスポイントを設置してきましたが、今後は負荷分散のためのアクセスポイント設置も検討します。その際には干渉を避けるために隣接アクセスポイント数を考慮する必要があります。

### IEEE 802.11ac チャンネルボンディングの導入

3.3 節の調査により、全キャンパスの半数以上のアクセスポイントでチャンネルボンディングが可能であることが分かりました。そこで実運用に影響が無いアクセスポイントを選んでチャンネルボンディングの設定を投入し、試験運用を行います。同時に他無線 LAN システムからの干渉も調査し、どのようなチャンネル構成が可能かを検討します。

## 6 まとめ

本稿では、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 の利用状況について報告しました。各年度や各月の統計から、利用者数が確実に増加していることが分かりました。また、一日当たり一人が接続する平均アクセスポイント数や、一台のアクセスポイントに接続する利用者数も増加しており、エリア拡大の効果と無線 LAN 利用の浸透が進んでいることを確認できました。一方で、IEEE 802.11a/b/g のみに対応する端末の接続が殆ど無いことから、IEEE 802.11n 以降の端末を前提とした設定の見直しや、利用者が集中しているアクセスポイントの負荷分散を目的としたアクセスポイント増設が必要であることも新たに判明しました。さらに、IEEE 802.11ac のチャンネルボンディングによる高速通信の提供が可能かを調べるため、隣接アクセスポイント数を調査し、全体の半数以上のアクセスポイントで 40 MHz のチャンネルボンディングの導入が可能であることが分かりました。そこで次の段階として、試験的なチャンネルボンディング導入と、他無線 LAN システムからの干渉の詳細な調査を行う予定です。

## 参考文献

- [1] '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.
- [2] 中村 豊, 福田 豊, 佐藤 彰洋 : 九州工業大学における全学セキュア・ネットワークの導入について, 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. 2015-IOT-28, No. 20, pp. 1-6, 2015.03.06.
- [3] 福田 豊, 中村 豊, 佐藤 彰洋 : 九州工業大学・全額セキュアネットワーク導入における無線 LAN 更新, 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. 2015-IOT-28, No. 21, pp. 1-6, 2015.03.06.
- [4] eduroam : <http://www.eduroam.org>