

# 徳山高専の校内無線LANについて

新田 貴之\*<sup>1</sup> 林 嘉雄\*<sup>2</sup> 高木 美咲穂\*<sup>2</sup>  
鳥居 恵子\*<sup>2</sup> 西村 太志\*<sup>3</sup> 中川 明子\*<sup>4</sup>

## Case Study of a Campus Wireless-LAN at NIT-Tokuyama Collage

Takayuki NITTA\*<sup>1</sup>, Yoshio HAYASHI\*<sup>2</sup>, Misaho TAKAKI\*<sup>2</sup>  
Keiko TORII\*<sup>2</sup>, Futoshi NISHIMURA\*<sup>3</sup> and Akiko NAKAGAWA\*<sup>4</sup>

### Abstract

A feature of wireless LANs for education is that it has more than 40 simultaneous users in one zone and uses them simultaneously. Currently, NIT (National Institute of Technology) Tokuyama College operates 40 wireless APs as a standard network of NIT. This wireless system was delivered in a typical setup. As a problem with the typical settings, it is desirable for wireless-clients to connect to the 5GHz band with less interference, but it was connected to the 2.4GHz band. In this paper, the characteristics of the 5 GHz band and the 2.4 GHz band are summarized, and provides an example in which the coverage of the 5 GHz band is adjusted.

**Key Words :** Wireless LAN, IEEE802.11, Frequency Selection, Power Control

### 1. はじめに

教育用無線LAN(Local Area Network)は、一つのゾーンに40人以上の同時利用者が存在し、教員等の指示により同期的に一斉に利用するという特徴がある。これは、オフィス用途での利用と大きく異なり、高密度でAPを配置することから、混信対策に関しての工夫を要する。

現在、徳山高専(以下、本校)では、国立高専統一仕様ネットワークとして、40台の無線APを運用している。導入時点では、一般的用途用の標準設定で納品されており、本校でのAPの配置状況を配慮しておらず、ほどほどの品質に留まっていた。

具体的には、2.4GHz帯と5GHz帯の各カバーエリアに差があるために、無線LANの混信が少ない5GHz帯への

接続が好ましいにもかかわらず、他教室の2.4GHz帯の電波と接続する状況が見受けられた。そのため、本校の配置に適した調整が必要であった。

本論文では、最初に2.4GHz帯と5GHz帯の特徴を整理して述べ、各特徴について、状況を明らかにする。それに基づいた対処法を実施した成果について論じる。具体例は昨年度生じた不具合、並びに、コロナ禍で対策の必要であった対処について報告する。

### 2. 無線LANの特徴

この第2章では、無線LANで考慮すべき特徴についてまとめる。特徴で注意すべき点の多くは、各種リソースを共用して使用している点であり、教育現場で利用する同

\*<sup>1</sup> 情報電子工学科 (併任: 情報処理センター長)

\*<sup>2</sup> 教育研究支援センター第三技術室

\*<sup>3</sup> 機械電気工学科 (併任: 情報処理センター副センター長)

\*<sup>4</sup> 土木建築工学科 (併任: 情報処理センター副センター長)

時一斉に利用する形態として配慮を要する点である。

## 2.1. 無線 LAN の概要

無線 LAN は、伝送媒体として電波を用いており、現在は、2.4GHz 帯、5GHz 帯、25GHz 帯、60GHz 帯が日本では免許を要しない無線局のの一つとして使用が認められている（電波法施行規則第 6 条第 4 項第 5 号：小電力データ通信システムの無線局）。

電波は、短波帯(3~30MHz)以下では、外国へも届くし、超短波帯(30~300MHz)以上でも近隣諸国に届くことから、古くから国際的な機関である国際電気通信連合(ITU: International Telecommunication Union) で、各周波数帯の利用方法の決定が行われて、各国の各周波数帯の利用方法が定められている。

世界的に各周波数帯の利用方法が定められていることから、近年では、無線機器について、国外製品を日本国内で使用すること、国外から日本に持ち込みして利用すること、日本から国外に持ち出して使用することが可能になる基礎的な状況が作りだされている。

## 2.2. 無線 LAN における IEEE 標準

LAN に関する規格は、IEEE(米国電気電子学会: Institute of Electrical and Electronics Engineers)が標準化を行っている IEEE802 シリーズが広く普及しており、無線 LAN においても同規格である IEEE802.11 シリーズに準拠することが一般的である。

表 1 は、IEEE802.11 シリーズのうち、現在、広く使用されている規格をまとめた。次節以降で詳細を述べるが、2.4GHz 帯は、電波が重ならないチャンネルが 3 つしかないことに対して、5GHz 帯は、19 チャンネルを独立して使用することができることの差異がある。

同じ空間で、同一のチャンネルを使うと混信が生じて、思いうような品質が得られなくなる。そのため、近接する AP(Access Point)とは違うチャンネルを各 AP が自動的に選択することが一般的である。このとき、AP の距離が十分に離れている場合には、同じチャンネルを使用することができる。図 1 では、塗りつぶしとして、AP1 と AP4 のカバーするエリアを縦線、同様に AP3 のエリアを横線、AP2 と AP5 のエリアをドットで示している。

このように平面で示すと、3 つのチャンネルだけで、無限にエリアを拡張可能という錯覚に陥る。学校やオフィスに設置する無線 LAN では、各フロアに AP を設置するために、フロア間の干渉も検討しなければならない。

例えば、図 2 の 2F 中央部付近の AP23 は、同一フロア内で 5 つの AP に近接することに加えて、階上、階下の AP33 と AP13 にも近接する形になり、各 AP 間が十分に離れた状態を満たしづらくなり、混信が生じやすくなる。本校では、中廊下(廊下を挟んで、南北に部屋がある形態)であるため、更に配置に苦慮する所である。

なお、無線 LAN を示す言葉としては、現在は、「Wi-Fi」が有名である。この Wi-Fi は、IEEE802.11 シリーズに

表 1 広く使用されている IEEE802.11 規格の概要

規格	概要 (日本国内の状況)
IEEE802.11b/g	2.4GHz 帯を用いる。 重ならず利用できるチャンネル数は、3 チャンネル。
IEEE802.11a/ac	5GHz 帯を用いる。 重ならず利用できるチャンネル数は、19 チャンネル。
IEEE802.11n	複数チャンネルを束ねて使用できる。 2.4GHz 帯を用いたり、5GHz 帯を用いたり、更に双方を同時に用いたりすることが可能。

この表 1 では、執筆現在において、対応機器の少ないチャンネルである 2.4GHz 帯は、14ch を含めておらず、5GHz 帯は、144ch を含めていない。

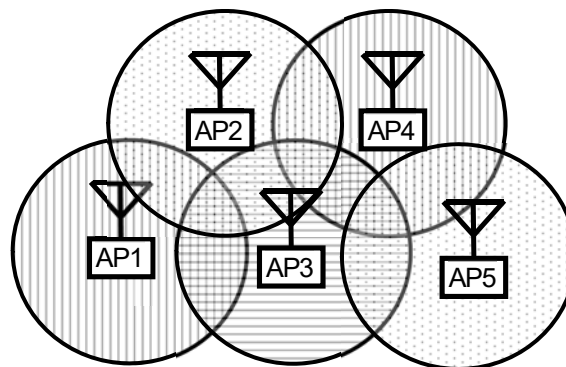


図 1 チャンネルの繰り返し利用 (平面)

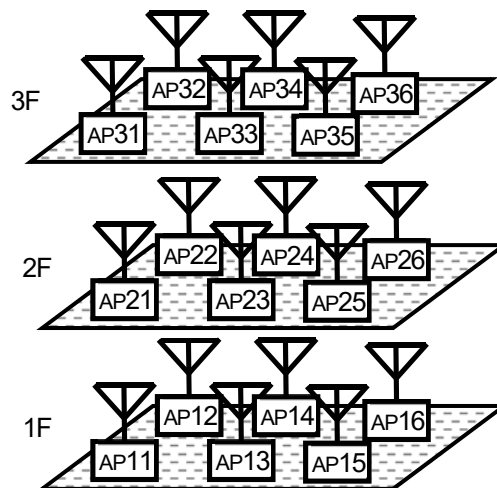


図 2 チャンネルの繰り返し利用の検討 (立体)

準拠し、相互接続性を有するかを認証する団体である Wi-Fi Alliance による認証を受けたことを示すために用いられる。本稿では、無線規格の違いによる特徴を扱うため、引き続き、IEEE802.11 の規格名で論じることとする。

### 2.3. 周波数帯域ごとの特徴の違い

規格の上では、5GHz 帯の方が、明らかに対応チャンネル数が多く、前節の通り、混信対策の面では有利であることが分かる。それに対して、電波の到達性については、2.4GHz 帯の方が有利と多くの無線 AP メーカーで言われている。

学術的に調査・研究が行われているかについて、CiNii での検索の範囲では、ITU-R P1238<sup>2)</sup>を原典とした近距離の電波伝搬に関する解説記事<sup>3)</sup>が見つかるに留まり、無線 AP の利用帯域に特化した 2.4GHz 帯と 5GHz 帯に関する論述は見つけられなかった。

そのため、この ITU 勧告(ITU-R P1238)を軸として無線 AP に関する先行研究がないかを調査するため「ITU-R P1238 2.4GHz 5GHz」のキーワードで google 検索を行うと屋内事務所環境での無線 LAN に関する文献<sup>4)</sup>が見つかった。この文献では、ITU 勧告での AP-CL(Client:端末)間の伝搬特性の式について、AP-AP 間の伝搬特性についての拡張を試みている。

この文献<sup>4)</sup>は、民間企業のチームによる報告であり、同じく ITU も民間企業の貢献で成り立っている側面、並びに、無線 LAN の規格が、ある程度の成熟した規格であることを踏まえると、産業界・実業界の報告等を活用することが有用であると考えられる。

そこで、ITU-R P1238 にある屋内の伝搬損失距離特性  $L_{total}$ [dB]の推定式は、次の式(1)で示されている。

$$L_{total} = L(d_0) + N \log_{10} \frac{d}{d_0} + L_f(n) \quad (1)$$

基準距離  $d_0 = 1[m]$  としたときには、 $L(d_0) = 20 \log_{10} f - 28$ となることを ITU-R P1238 で示されているので、 $d_0 = 1[m]$ として式(1)を整理した式を(2)に示す。

$$L_{total} = 20 \log_{10} f - 28 + N \log_{10} d + L_f(n) \quad (2)$$

ただし、

$L_{total}$ :減衰量[dB],  $f$ :送受信周波数[MHz]

$N$ :減衰係数 2.4[GHz]の事務所環境では、 $N = 30$

5.2[GHz]の事務所環境では、 $N = 31$

$L_f(n)$ :フロアパーテーションによるロス[dB]

この式(2)をもとに検討を進める。距離  $d = 1 \sim 100[m]$  の範囲では、距離に依存する  $N \log_{10} d$ の項は、実用的な距離の 10[m]では、2.4GHz 帯で 30[dB]の減衰であり、5GHz

表 2 ITU-R P1238 の式(2)による減衰量

距離 [m]	パーテーションの数[枚]			
	0	1	2	3
1	39.7	53.7	67.7	81.7
	46.3	62.3	78.3	94.3
	0.0	2.0	4.0	6.0
2	48.8	62.8	76.8	90.8
	55.7	71.7	87.7	103.7
	0.3	2.3	4.3	6.3
5	60.7	74.7	88.7	102.7
	68.0	84.0	100.0	116.0
	0.7	2.7	4.7	6.7
10	69.7	83.7	97.7	111.7
	77.3	93.3	109.3	125.3
	1.0	3.0	5.0	7.0
20	78.8	92.8	106.8	120.8
	86.7	102.7	118.7	134.7
	1.3	3.3	5.3	7.3

上段：2.4GHz 帯の減衰量[dB]

中段：5GHz 帯の減衰量[dB]

下段：各条件の 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の差に対して更に距離 1[m]壁無しの際の計算値 6.6 を減じた値[dB]

帯でも 31[dB]であるため、1[dB]の差が生じる。

それに対して、基本的な損失を示す式は、 $L(d_0) = 20 \log_{10} f - 28$ であるので、2.4GHz 帯の周波数を ch.6 の 2437[MHz]とすると、39.7[dB]の減衰、5GHz 帯の周波数を ch.40 の 5200[MHz]とすると、46.3[dB]の減衰となり、少々大きめの差が生じる。

パーテーションによる影響については、事務所環境では、2.4GHz 帯は、14[dB]、5GHz 帯は、16[dB]と文献<sup>2)</sup>の表 3 で示されており、パーテーションを通過するごとに、この値が損失として加わる。

表 2 は、距離を 1, 2, 5, 10, 20[m]として、パーテーションの枚数を 0, 1, 2, 3[枚]としたときの減衰率[dB]をまとめたものである。距離が延びるにつれて、パーテーションが増えるにつれ、5GHz 帯の方が減衰率に不利が生じることがわかる。

この表 2 の減衰は、いわゆる現場の肌感覚（廊下では 2.4GHz 帯も 5GHz 帯も大丈夫であり、5GHz 帯に接続するのだが、廊下から部屋に入ると、2.4GHz 帯の方に接続してしまう）と一致している。

なお、表に示した数値は数[dB]と小さな差異であるが、第一筆者所有の Android 端末では、10[dBm]ごとにアンテナピクトが 1 つ変化するようであるので、数[dB]の違いが大きな意味を持つことに、直感的に気付いて頂けるかと思われる。アンテナピクトに関しては、標準的な表示方

法が決まっていないため、本稿では、定性的な表現に留める。

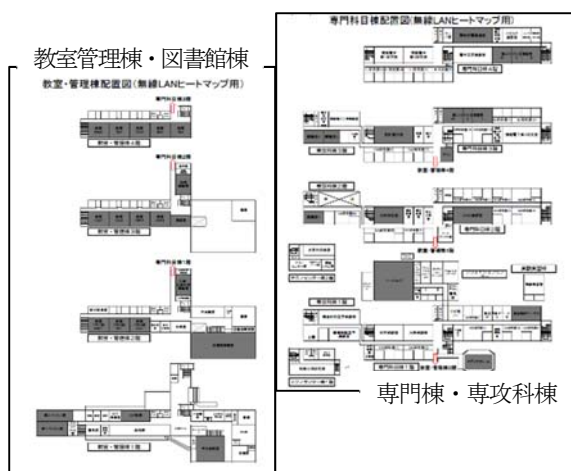
### 3. 本校における無線 LAN の運用

本校においては、ここ 5 年の間に無線 LAN に関する要求が慌ただしく変化した。表 3 は、年表形式で徳山高専における無線 LAN 環境の遍歴をまとめたものである。

安定して運用することができるのは、2019 年に導入し

表 3 徳山高専における無線 LAN 環境の遍歴

年度	概要
不明	Windows XP 以前は、各社独自の接続ソフトを利用する形態のため、相互接続性に苦戦する (学内展開に至らず)
2007	学生寮に無線 AP を導入(~2017 まで) HP ProCurve420w[30 台]
2011	教室のワイヤレス化のための AP 導入 HP MSM330[12 台]
2016	会議のペーパーレス化のための AP 導入 HP M330[13 台] 802.1x 認証の導入 (内製 radius)
2018	国立高専統一導入の AP 導入 CISCO Aironet 1831i[40 台] 802.1x 認証機器の導入(CISCO ISE)
2019	学生への無線 LAN 開放(LMS 等に限定) 内製 radius サーバを CISCO ISE に変更 Eduroam に参加 無線需要の増大を見越して試験購入 CISCO Aironet 1815w[10 台]
2020	学生への無線 LAN 開放拡大(web アクセス全般) コロナ禍による遠隔授業実施 (予定:無線 AP を 80 台調達中)



グレーで塗りつぶした部分が、カバーしているエリア

図 3 国立高専統一導入 AP によるカバレッジ

た国立高専統一導入の AP がカバーしているエリアであり、その AP によるエリア (カバレッジ) について、図 3 に示す。

本校のような小規模高専においても、AP40 台は少ない状況で、面積ベースで 50%も満たさないカバーエリアとなっている。(備考:本校は3学科学生定員が600名。一般的な国立高専は、本科学学生定員4~5学科で、学生定員が1,000~800名)

学科数が少ないこともあり、学科棟が存在せず、①教室管理棟、②専門棟の2棟で、ほとんどの学生・教職員が活動しており、③情報処理センター、④図書館棟、⑤テクノロジーフレッシュ教育センター、⑥メディアホール、⑦専攻科棟、⑧クリエーションセンター、⑨実験実習棟が、写真1の通りに、ひと続きにまとまっているコンパクトなキャンパスである。

特に、①教室管理棟の北端と②専門棟の南端に教員室が配置されており、壁で隔てることなく22[m]で見通せている(写真2)。前節2.3の式(2)によると、一端にAPを設置し、1mの所で-40[dBm]で受信できる場合、22m離れた所では、約-80[dBm]のなり、混信の原因となる。

2.2 節で述べた中廊下の部屋配置による混信対策の難



写真1 徳山高専 上空からの写真(南西方向から)  
(平成27年度学校要覧の表紙から一部引用し加工)

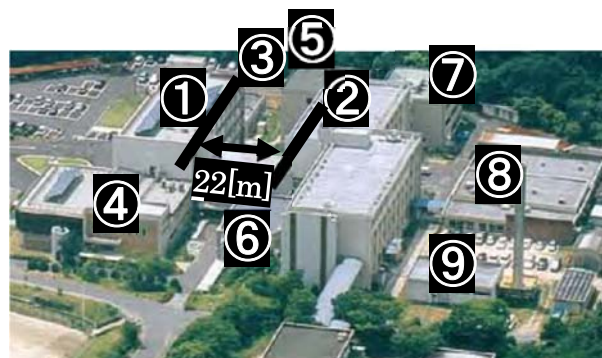


写真2 徳山高専 上空からの写真(東方向から)  
(平成27年度学校要覧のP.2から一部引用し加工)

しさに加えて、各棟の近さから、棟ごとでの AP 管理で済ますことが困難であり、全校全体として、一括して管理する必要が生じている。

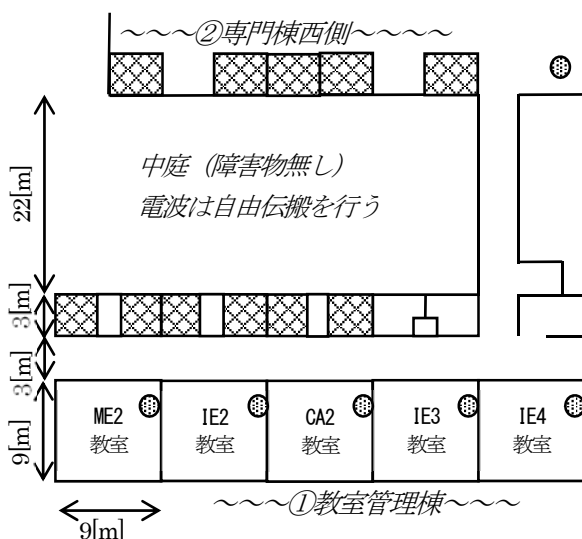
この3章の各節では、2018年に導入された国立高専統一導入 AP の改良を中心に改善したことを報告する。

### 3.1 使用機材と設置形態

国立高専統一導入 AP では、管理コントローラ型の AP が導入された。導入機種は、CISCO 社の 2504 ワイヤレスコントローラ(以下、WLC)と、このコントローラに接続して使用する AP(CISCO 社 Aironet 1831i。以下、**管理型 AP** と称する)を中心として運用している。これに対し、統一 AP が導入される前に構築していた AP があり、これらは全て、管理コントローラを用いない自律型 AP として運用しており、以下、**自律型 AP** と称する。

先の**管理型 AP**は、設置場所の基準が高専機構内で定まっています。学生が授業中に使用する場所、日常的に自学自習を行う場所に設置している。AP の最大クライアント接続数が 200 端末である所に対し、通信帯域を共有することから 1AP あたりの接続数は、40 と見積もって配置している。そのため、隣接教室の AP から電波が届く場所であっても、40人収容する部屋ごとに AP を設置している。

このことから、①教室管理棟の**管理型 AP**の設置は、講義を受講する用途の部屋や、放課後等で自学自習を行う各ホームルール教室に 1 つずつ AP を設置する形態となる。①教室管理棟には、1フロアあたり最大で5教室あ



凡例：● 管理型 AP 設置場所    ⊞ 教員室  
ME, IE, CA: 学科略称(学科略称に後置の数字は学年)

図 4 ①教室管理棟 4F の**管理型 AP**配置図と  
②専門棟西側 3F の配置図 (2018 年度)

り、①教室管理棟 4F の配置図を図 4 に示す。

この図 4 には、併せて、①教室管理棟 4F と同フロアとなる②専門棟 3F の配置図を記載した(写真 1 に示す通り、斜面を切土・盛土で整地して立てている模様であり、①と②の建物は、1フロアの差が生じている)。

### 3.2 教室 AP の電界強度の調整

教室 AP は、**管理型 AP**を用いているため、電波の出力を自動的に抑圧して、干渉を抑えるように動作する。

2018 年度は、第一筆者の担当授業は、IE4 教室であり、不具合は一切生じなかった。2019 年度は、IE4 教室と IE2 教室の入れ替えがあり、図 4 における IE2 教室の場所で授業を行った。この IE2 教室では、2.4GHz 帯に接続するようになり、混信の影響と見える遅延が生じた。

表 4 は、各教室 AP の送信出力をまとめたものである。2.4GHz 帯は、最大出力が 16[dBm] (送信電力 40[mW]) に対して、4[dBm] (送信電力 2.5[mW]) や 1[dBm] (送信電力 1.25[mW]) に抑圧されている。5GHz 帯 (改善前) も同様の抑圧が行われている。

2.4GHz 帯よりも 5GHz 帯への接続を行うようにするには、2.4GHz 帯の出力を絞るか、5GHz 帯の出力を上げるかになる。2.4GHz 帯の出力は、使用している AP での最小値のため、さらに下げることは不可能なため、必然的に、5GHz 帯の出力を上げる方法を選ぶことになった。

最小電力を 13[dBm]を下回らないように設定したことで、表 4 の 5GHz 帯 (改善後) の出力値となった。出力レベル 2 と 4 が混在しているのは、W56 のチャンネルでは、最大出力が 22[dBm]で、そこから 3 段階下げる (3dB×3 段階=9dB 減)と 13[dBm]となる。W56 のチャンネル以外は、最大出力が 16[dBm]であるため、1 段階下げる (3dB×1 レベル=3dB 減)と 13[dBm]になるためである。

このように、5GHz 帯の出力をあげることによって、当

表 4 教室 AP の送信出力

場所	出力レベル (1 が最大。8 が最小)		
	2.4GHz 帯 (改善前)	5GHz 帯 (改善前)	5GHz 帯 (改善後)
ME2 教室	6(1dBm)	7(4dBm)	2(13dBm)
IE2 教室	6(1dBm)	6(不明*)	2(13dBm)
CA2 教室	6(1dBm)	7(4dBm)	4(13dBm)
IE3 教室	6(1dBm)	7(4dBm)	4(13dBm)
IE4 教室	5(4dBm)	5(不明*)	2(13dBm)

不明について：使用チャンネルが W56 かそれ以外で値が変わることに気付かずに、何 dBm かの記録を失念した。W56 のチャンネルの場合は、5(10dBm)や 6(7dBm)となる。それ以外のチャンネルの場合は、5(4dBm)や 6(1dBm)となる。どちらにしても、改善後の送信電力の方が上回っている。

初に不具合のあった、IE2 教室での接続は、5GHz 帯に接続するようになり、不良が解消された。出力を増強させたが、5GHz 帯の混信等による品質不良は、今のところ見受けられない。

### 3.3 遠隔授業下における無線 LAN の運用

コロナ禍によって、本校においても、前期期間中は、遠隔授業が実施された。遠隔授業の送信において、複数のデバイスを用いて、授業を行いたいというニーズが高まり、無線 LAN のカバレッジを上げる必要に迫られた。

一方、新たに AP を導入しようとしても、業務用 AP の納期は、2 か月前後であるのが一般的であるところに、製造や流通が安定していない状況のところに需要増であったため、予算措置があるにも関わらず、購入して体制を整えるという選択肢は、早々と絶たれた。

そこで、前 3.2 節の知見を活かし、カバレッジの広大化を図った。学生が登校しないことから、1AP あたりの収容端末数が多くなならないという状況を前提することが可能であった。

手法は、W56 バンドのチャンネル（前節で述べた通り、22[dBm]までの送信電力が使える）を用いることで、19[dBm]以上の送信電力とした。これでも届かない所には、旧式の自律型 AP を設置することで補完し、完璧ではないものの、ある程度のカバレッジを確保することができた。更に、5GHz 帯専用の SSID を設けることで、クライアント側にて、5GHz 帯を選べるような設定を追加した。

## 4 まとめ

本論文では、2.4GHz 帯と 5GHz 帯の特徴について述べ、本校の建屋構成では、隣接する地点が多い状況下であり、混信が生じやすい状況であることを述べた。また、所有 AP 数の少なさから、カバレッジを上げる方向を最初の戦略とせざるを得なかった。

この状況において改善するには、使用可能なチャンネル数の多い 5GHz 帯の積極的活用をせざるを得ず、その方針から、所有する限られた AP 数において、5GHz 帯の送信電力を上げる方法によって、改善を行った。

但し、これは、現状の使用機材においての一時的な対策に過ぎず、今後の利活用の場面においては、AP の高速化の支障となる。具体的には、現在の 5GHz 帯の利用は、1AP で、1 チャンネルの使用に限定することで、混信を防いでいる。そのために、最大転送速度は、130Mbps に抑えられている。

1AP あたりの利用チャンネル数を増やし、各 AP の最大の性能を発揮させるには、当初の小ゾーン方式に戻していく必要がある。抜本的な解決方法は、AP を増やしていく必要がある。

本稿では触れられなかったが、2020 年 8 月 30 日に実施したオンライン・オープンキャンパスでは、歩きながらのキャンパス紹介の伝送について、無線 LAN が活用された。本論文で述べた知見を活かして、追加の AP を適切に配置することで、ハンドオーバーの時間を抑えることが可能であった。なお、本年度末までに新たな AP を追加する予定にしている。AP 数が更に増えると、新たな混信が発生することが想定されるが、本論文で整理した状況を踏まえて、構築を行う予定である。

## 謝辞

本論文は、無線 LAN の技術的改善について取り扱った。現実のネットワークは、セキュリティの諸問題に取り組みながら進めて行く必要がある。

これら情報処理センターの方針決定は、徳山高専総務課の福田宏治総務係長を起点としたご尽力によって、情報セキュリティ管理委員会や機構本部との調整が図られている。福田係長をはじめ、関係各位のご協力に感謝申し上げます。

## 文献

- 1) 総務省、「免許を要しない無線局の分類と主な用途等」, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000458674.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000458674.pdf) [2020/08/27 ONLINE]
- 2) ITU(国際電気通信連合) Recommendation P.1238, “Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 450 GHz”, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1238> [2020/08/30 ONLINE]
- 3) 沢田浩和, 「近距離の電波伝搬」, 映像情報メディア学会誌 Vol.71, No.1, pp.62-67(2017)
- 4) 松戸孝 他, 「屋内事務所環境に設置された無線 LAN アクセスポイント (AP) 間における電波伝搬損失測定の実験的検討—勧告 ITU-R P.1238 を補完するための CAP3702I(シスコシステムズ社製の AP)を用いた AP 間の電波伝搬損失距離特性の推定式の導出—」, 第 595 回 URSI-F 会合資料[開催日: 2015/06/24], [http://ursi-f.nict.go.jp/doc/URSI\\_F\\_2015Jun24\\_matsudo.pdf](http://ursi-f.nict.go.jp/doc/URSI_F_2015Jun24_matsudo.pdf) [2020/08/30 ONLINE]

(2020.10.19 受理)