

学内向け Wi-Fi 環境観測システムを用いた Wi-Fi 環境の調査と改善

岩瀬 雄祐¹⁾, 山口 由紀子²⁾, 川瀬 友貴¹⁾, 石原 正也¹⁾, 嶋田 創²⁾

1) 名古屋大学 全学技術センター

2) 名古屋大学 情報基盤センター

iwase@nagoya-u.jp, yamaguchi@itc.nagoya-u.ac.jp,
{kawase, ishihara}@icts.nagoya-u.ac.jp,
shimada@itc.nagoya-u.ac.jp

Wi-Fi Environment Survey and Improvement by Campus Wi-Fi Environment Survey System for Campus

Yusuke Iwase¹⁾, Yukiko Yamaguchi²⁾, Yuki Kawase¹⁾,
Masaya Ishihara¹⁾, Hajime Shimada²⁾

1) Technical Center, Nagoya University

2) Information Technology Center, Nagoya University

概要

名古屋大学では全学的な無線 LAN サービスとして名古屋大学無線ネットワーク (NUWNET) を提供している。無線アクセスポイントの更新・増設による Wi-Fi 環境の改善を進めてきたが、「NUWNET が途切れる」「NUWNET が遅い」等の問い合わせが多く、ユーザ側からの通信状態を把握するため、Raspberry Pi を用いた学内向け Wi-Fi 環境観測システムを構築した。本稿では、学内向け Wi-Fi 環境観測システムを用いた Wi-Fi 環境の調査と改善の事例として、NUWNET バックボーンネットワークの改善、学生寮における NUWNET 環境の改善の試み、ハイブリッド型 Wi-Fi センサの追加について報告する。

1 はじめに

名古屋大学では本学構成員およびゲストユーザ向けの全学的な無線 LAN サービスとして名古屋大学無線ネットワーク (NUWNET) を提供している。講義や研究において学生が積極的に ICT を活用できる環境の提供を目標として、キャンパス内の全講義室への無線アクセスポイント (以下、無線 AP) 設置を実施した[1]。無線 AP の更新・増設による Wi-Fi 環境の改善を進めてきたが、「NUWNET が途切れる」「NUWNET が遅い」等の問い合わせが多く、ユーザ側からの通信状態を把握するため、利用実態に即した Wi-Fi 環境の調査が必要となった。

Wi-Fi 環境の調査方法として、スマートフォンやノート PC 向けの Wi-Fi アプリケーション、専用デバイスの Wi-Fi テスタが挙げられる。しかしながら、これらのツールは複数同時かつ継続的にデータ収集することが難しい。その一方、Raspberry Pi¹⁾を利用して Wi-Fi センサを作成して小規模なイ

ベントネットワークにて運用・評価した事例[2]、多数の無線クライアント接続による Wi-Fi 環境の評価を、Raspberry Pi を集積した Wi-Fi センサによって低コストで実現した事例[3]が報告されている。また、観測データの収集について、スマートフォンによる Wi-Fi 環境の観測データをクラウドサーバに集約し、それらの観測データを用いて、Wi-Fi の受信電波強度の推定を行うシステムが提案されている[4]。

我々は NUWNET の電波状況と通信状況の改善のための基礎データ収集を目的として、Raspberry Pi を利用した学内向けの Wi-Fi 環境観測システムを構築した[5]。本システムは NUWNET の実環境に設置し、電波強度調査による Wi-Fi 改善効果の確認、接続断調査による Wi-Fi 問題の原因切り分け等、ユーザサポートに役立てている。また、Wi-Fi 環境観測システム用の VPN を構築し、学外において Wi-Fi センサとサーバをセキュアに通信できるようにすることで、学外向け Wi-Fi センサを作成し、AXIES2022 会場にてデモ展示した[6]。2023 年度から対面講義が再開され、キャンパスに学生が戻ってきたことにより、NUWNET に関す

¹⁾ <https://www.raspberrypi.com>

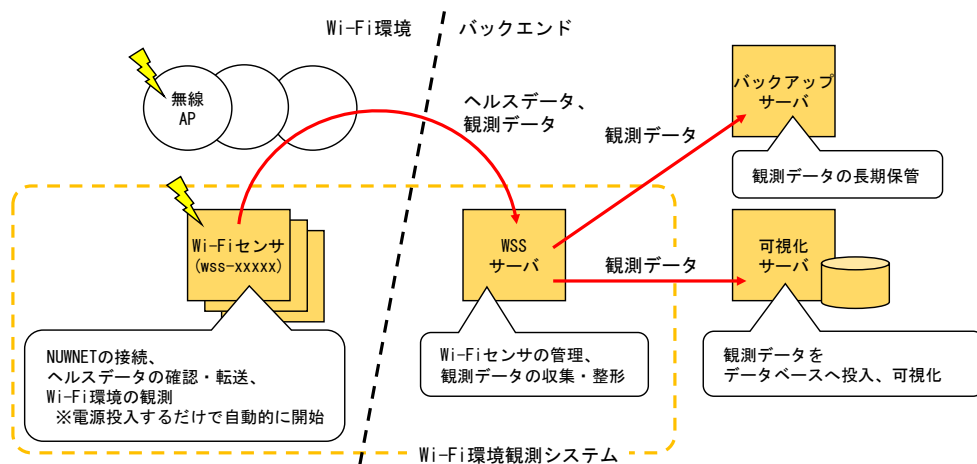


図1 Wi-Fi 環境観測システムとデータの流れ

るさまざまな問題が顕在化した。

本稿では、学内向け Wi-Fi 環境観測システムを用いた Wi-Fi 環境の調査と改善の事例として、NUNNET バックボーンネットワークの改善、学生寮における NUNNET 環境の改善の試み、ハイブリッド型 Wi-Fi センサの追加について報告する。

2 Wi-Fi 環境観測システム

2.1 システム概要

我々の構築した Wi-Fi 環境観測システム (Wi-Fi environment Survey System、以下 WSS) [5]はユーザ側から Wi-Fi 環境の観測を行い、観測データを集めるシステムである (図 1)。Wi-Fi 環境として (NUNNET の無線 AP が存在する) Wi-Fi 利用可能エリアを想定する。WSS は複数台の Wi-Fi センサと WSS サーバによって構成される。Wi-Fi センサを観測場所へ設置して電源投入すると、NUNNET に接続し、Wi-Fi センサ内に観測データを生成する。WSS サーバは Wi-Fi センサのヘルスデータに基づいて観測データを収集・整形する。WSS サーバ内の観測データは、外部の可視化サーバにおいて可視化を行い、バックアップサーバにおいて長期保管する。

Wi-Fi センサは Raspberry Pi のキットを利用して作成した (図 2)。諸元を表 1 に示す。Raspberry Pi には Wi-Fi が内蔵されているが、キットのアルミケースが Wi-Fi 電波の測定に影響する可能性を考え、USB 接続の Wi-Fi アダプタを追加した。Wi-Fi センサはヘルスチェック、Wi-Fi 環境の観測、ログ管理、Wi-Fi 再接続の機能を実装した。Wi-Fi センサは、Wi-Fi 調査コマンド「iwlist wlanX scan」を



図2 Wi-Fi センサ

表1 Wi-Fi センサの諸元

型番	Raspberry Pi 4 model B
OS	Raspbian 11
メモリ	4GB
MicroSD カード	32GB
Wi-Fi	内蔵 Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n/ac)
	外付け Wi-Fi アダプタ (BUFFALO WI-U2-433 DHP、 IEEE 802.11 a/b/g/n/ac)

実行して表 2 に示したデータを収集する電波強度調査型と、表 3 のデータを収集する接続断調査型の 2 タイプを作成した。

WSS サーバは Wi-Fi センサの管理を行う。定期的にヘルスデータを読み込み、Wi-Fi センサの ping 応答を確認し、Wi-Fi センサに接続する IP アドレスを含む死活管理情報等を更新する。また、WSS サーバは観測データの収集・整形を行う。Wi-Fi センサの死活管理情報に基づいて、Wi-Fi センサにログインし、観測データを収集し、収集した RAW ファイルをパースして CSV ファイルへ整



図3 可視化サーバのダッシュボード画面の例（電波強度調査）

表2 電波強度調査のWi-Fi調査コマンド

Wi-Fi 調査コマンド		観測データ（単位）
利用可能な無線APのキャン	「iwlist wlanX scan」コマンドの実行	BSSID
		周波数（GHz）
		チャンネル（ch）
		SSID
		電波強度（dBm）

表3 接続断調査のWi-Fi調査コマンド

Wi-Fi 調査コマンド		観測データ（単位）
スピードテスト	wget を用いて10MBのファイルを5回ダウンロード	ダウンロードスピード（MB/s） 実行回数（回）
ping 応答	5回のping実行	ping 応答におけるパケットロス（%）
Wi-Fi再接続	Wi-Fiアダプタの強制切断と再接続（wpa_supplicantとdhclientプロセスの再起動）	所要時間（秒）

形する。古い観測データ（RAW ファイル、CSV ファイル）は定期的に削除し、バックアップサーバへ保存される。

2.2 観測データの可視化

WSSで得られた観測データを分析してWi-Fi環境の問題解決に利用するため、可視化サーバを構築した。可視化サーバはデータベースと可視化アプリケーションをインストールした。WSSでは観測データが膨大になる可能性があるため、データベースとして分散型RESTful検索・分析エンジンとなるElasticsearch²を用いた。また、可視化ア

プリケーションは様々なデータソースからクエリ、可視化、アラートの発生等ができるGrafana³を用いた。

WSSサーバ上にはWi-Fiセンサから収集・整形された観測データ（CSVファイル）が存在している。可視化サーバは定期的にWSSサーバから観測データを収集し、ヘッダ項目によりパーサを選択することで、Wi-Fi調査コマンドによってフォーマットが変わるCSVファイルをJSON型式へ変換して、Elasticsearchへデータ投入する。Grafanaにおいて、データソースとしてElasticsearchのインデックスを指定し、観測データを可視化するためのダッシュボードとパネルを作成する。可視化サーバのダッシュボード画面の例を図3に示す。

3 WSSを利用したWi-Fi環境の調査・改善

2023年4月から本学においても対面講義が再開され、キャンパスでNUWNETを利用する学生が格段に増加した。そのような状況下で、中央図書館、学生寮、全学教育棟で行ったWSSを用いた調査、改善について報告する。以下の評価結果について、電波強度調査は2.4と5GHz帯の両方、接続断調査はWi-Fi再接続後に接続できた2.4と5GHz帯のどちらか一方の結果を示している。

3.1 NUWNETバックボーンネットワークの改善

中央図書館は、地下1階、地上5階建、地階と1階には集密書架、2階には玄関と各種ラーニング

² <https://www.elastic.co/jp/elasticsearch/>

³ <https://grafana.com/oss/grafana/>

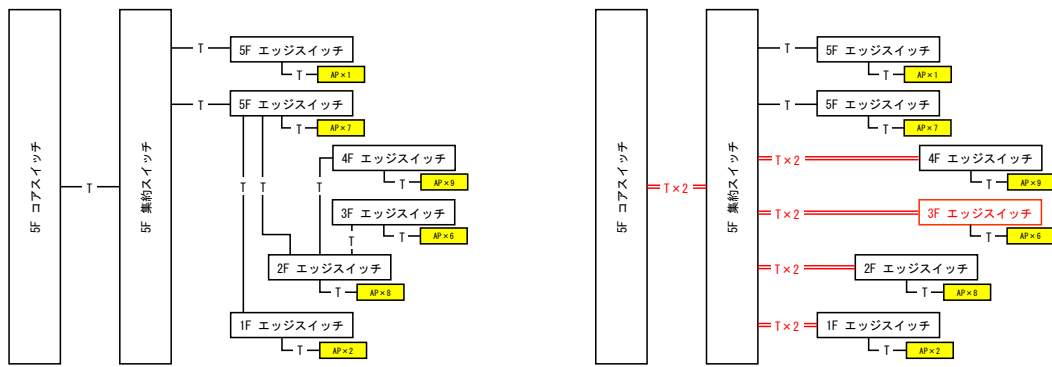


図4 NUWNET バックボーンネットワーク (中央図書館、左：変更前、右：変更後)

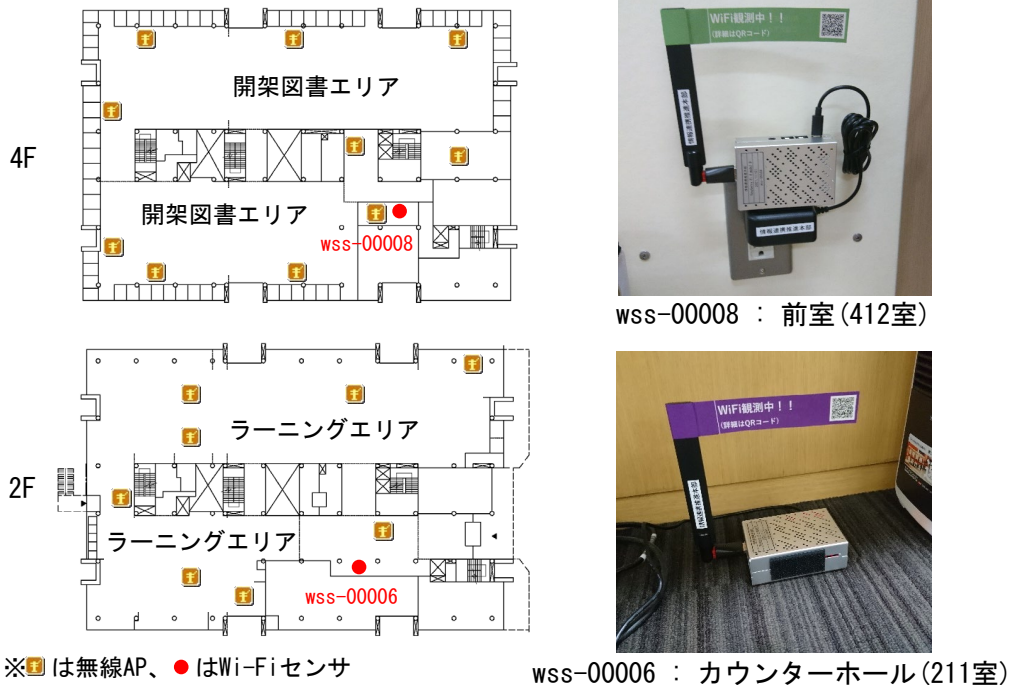


図5 Wi-Fi センサの設置状況 (中央図書館)

エリア、3 と 4 階には開架図書エリアが存在している⁴。NUWNET の無線 AP は全館で使えるように設置されているが、今年度から全面的に対面講義が再開され、中央図書館にも多くの学生が訪れるようになり、ラーニングエリアにあるカウンターに「NUWNET がつながりにくい」といった問い合わせが寄せられていると相談を受けた。中央図書館はNUWNET の無線 AP が比較的充実していたが、WSS を用いて Wi-Fi 環境を調査すると通信速度が極端に遅くなることが分かり、ネットワーク構成を含めた調査によって、原因はバックボーンにあることを突き止めた。そこで、NUWNET バックボーンネットワークを変更し、改善効果を確認

した。

中央図書館の NUWNET バックボーンネットワークの変更前後の構成を図4に示す。無線 LAN の性能がまだ低い 802.11g 世代時に部局で独自に設置したバックボーンネットワークであったため、複数の EPS (Electric Pipe Space / Shaft) 間をまたがる配線の新設を避けて複雑にカスケード接続 (多段接続) されたエッジスイッチに無線 AP が収容されていた。今回、5 階と各フロアに別途配線工事を行い、複雑なカスケード接続を解消した。また、スイッチ間は 1000Base-T の 1 本でしか接続しておらず、帯域が不足していた。そこで、1~4 階のエッジスイッチと 5 階の集約エッジスイッチとの接続を LAG 化 (1000Base-T×2 本) した上、上

⁴ <https://www.nul.nagoya-u.ac.jp>

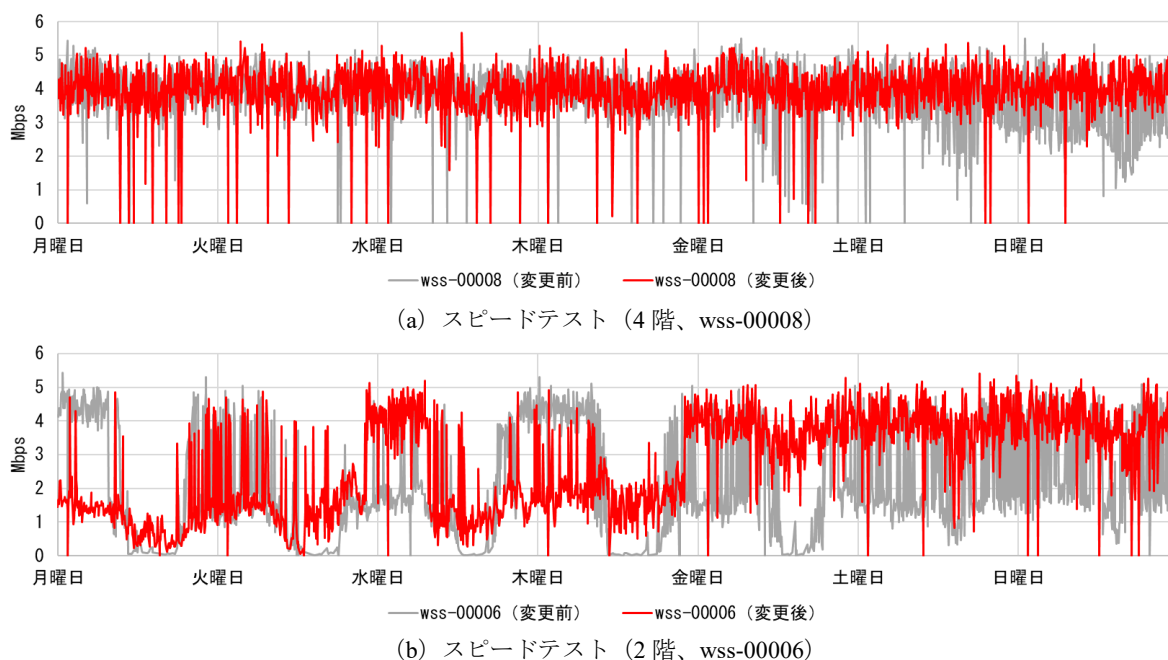


図6 接続断調査の結果（中央図書館）

流のコアスイッチとの接続も LAG 化した。また、3 階のエッジスイッチを増強している。

中央図書館における Wi-Fi センサの設置状況を図 5 に示す。Wi-Fi センサは 2 階のカウンターホールと 4 階の前室に設置した（設置期間 2023 年 4 月 20 日～、Wi-Fi センサは全館で 2 台）。カウンターホールの Wi-Fi センサは、来館者から見えなように、カウンターの裏側に平置きした。前室の Wi-Fi センサは、関係者以外は立ち入りできないエリアのため、セキュリティワイヤー等による固定は行わず、平置きせず、AC アダプタを台にして電源コンセントに設置した。

中央図書館における接続断調査の結果を図 6 に示す。各図はネットワーク変更前（2023 年 4 月 24 日（月）～4 月 30 日（日））と変更後（2023 年 5 月 15 日（月）～5 月 21 日（日））のスピードテストの結果を重ねて示している。4 階はネットワーク変更前後で変化が見られない一方、2 階は、平日日中時間帯に極端に速度が遅くなって全く通信できていない状況であったのが、ネットワーク変更後に改善されていることが分かった。

3.2 学生寮における NUWNET 環境の改善の試み

インターナショナルレジデンス大幸（以下、レジデンス大幸）は、地上 8 階建、1 階の夫婦室 4

戸、2～8 階の個室 224 戸（1 フロア 32 戸×7 フロア）、合計 228 室が存在する学生寮であり、南北に長く、東西に個室が並び、中央に廊下が通る。NUWNET の無線 AP は全館で使えるように設置されているが、建物中央の廊下にある無線 AP の電波が、個室のベランダ側にあるデスクとベッドまで十分に届かなかったため、Wi-Fi 中継器の貸出を行っていた。しかしながら、入居している学生から「個室で NUWNET が使えない」「中継器を使っても NUWNET が使えない」といった相談を受け、WSS を用いて NUWNET の通信状況を調査し、Wi-Fi 環境の改善を試みた。

レジデンス大幸の NUWNET の改善の試みとして以下の 2 つを実施した。1 つ目は、3 階の南側のエリアにおいて、無線 AP を古い機種（Cisco Aironet1702）から電波出力が高い新しい機種（Aruba AP-515）へ交換した（2023 年 7 月 3 日～9 月 7 日）。また、2 つ目として、無線 AP 交換とは別に、建物間をつなぐ上流接続を 1000Base-SX から 1000Base-SX×2 へ増速した（2023 年 9 月 7 日～）。

レジデンス大幸における Wi-Fi センサの設置状況を図 7 に示す。Wi-Fi センサは無線 AP 交換を行う 3 階にある 2 つの個室（301 室、311 室）に設置

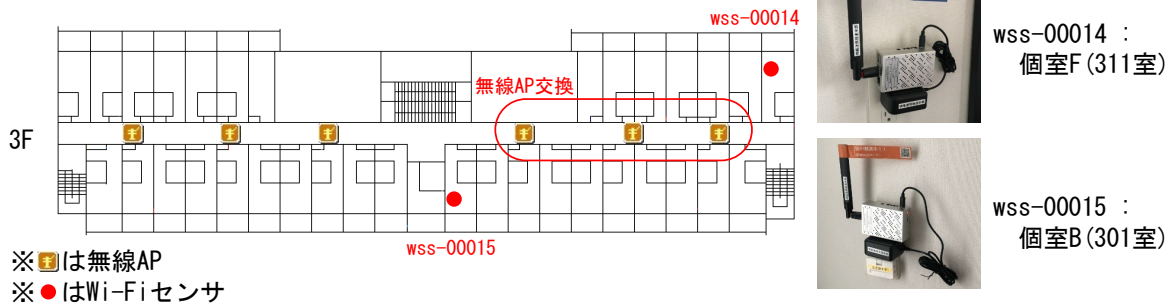


図7 Wi-Fi センサの設置状況 (インターナショナルレジデンス大幸)

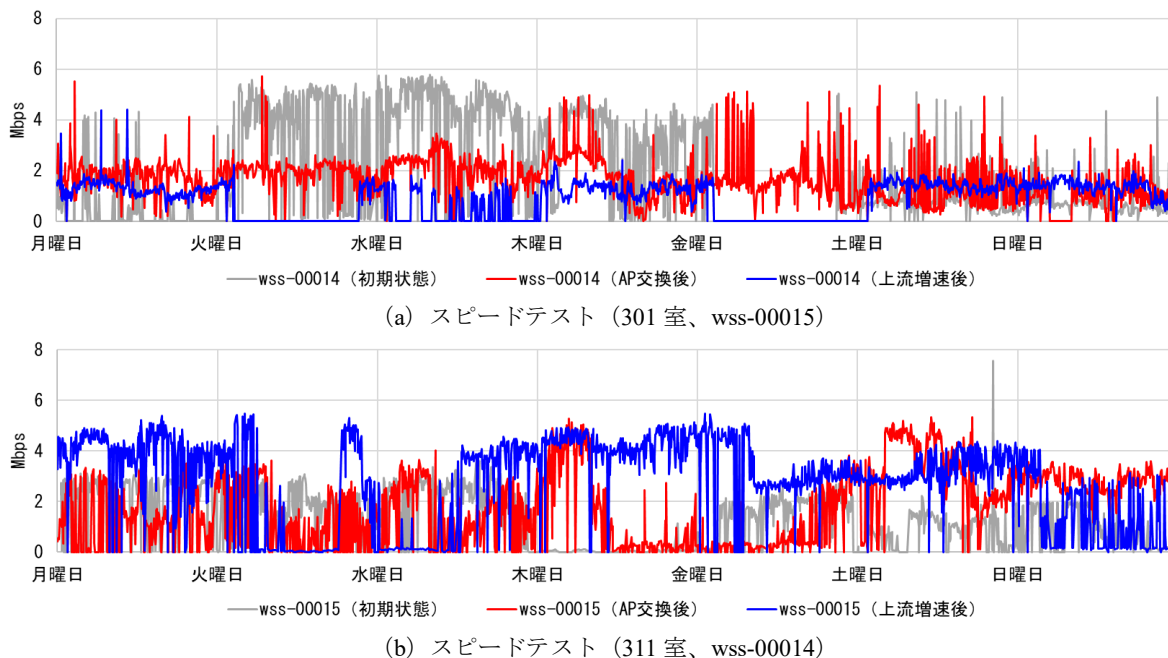


図8 接続断調査の結果 (レジデンス大幸)

した (設置期間 2023 年 6 月 21 日～、Wi-Fi センサは全館で 2 台)。相談してきた学生が入居する個室は 301 室となり、フロアの西側中央のエレベータホール近くに位置する。

レジデンス大幸における接続断調査の結果を図 8 に示す。各図は、初期状態 (2023 年 6 月 26 日 (月)～7 月 2 日 (日))、無線 AP 交換後 (2023 年 7 月 10 日 (月)～7 月 16 日 (日))、上流増速後 (2023 年 9 月 11 日 (月)～9 月 17 日 (日)) の調査結果を重ねて示している。301 室 (図 8 - (a)) は、初期状態の方が通信速度が高いが、無線 AP 交換によって極端に速度が遅くなるタイミングが減った。311 室 (図 8 - (b)) は、上流増速において通信速度が若干上がった。無線 AP 交換の効果は限定的であり、建物全体へ展開することは見送

られた。また、上流増速については、上流のみの増速は改善効果が低く、フロア間の増速による改善の余地を残した。

3.3 ハイブリッド型 Wi-Fi センサの追加

全学教育棟は教養科目を受講する建物で、地上 4 階建、多くの学生が利用する建物である。NUWNET の無線 AP の更新・増設、また、集中制御型無線 LAN コントローラを導入して Wi-Fi 環境の改善を進めている。以前から「NUWNET が切れる」という問い合わせが寄せられており、講義室に Wi-Fi センサを設置、Wi-Fi 環境を調査している [5]。しかしながら、2023 年度になって、新たに「お昼休みになると NUWNET が遅い」「学生ホールの NUWNET も調べて欲しい」との問い合わせがあり、複数の調査を同時に行えるハイブリッド型 Wi-Fi

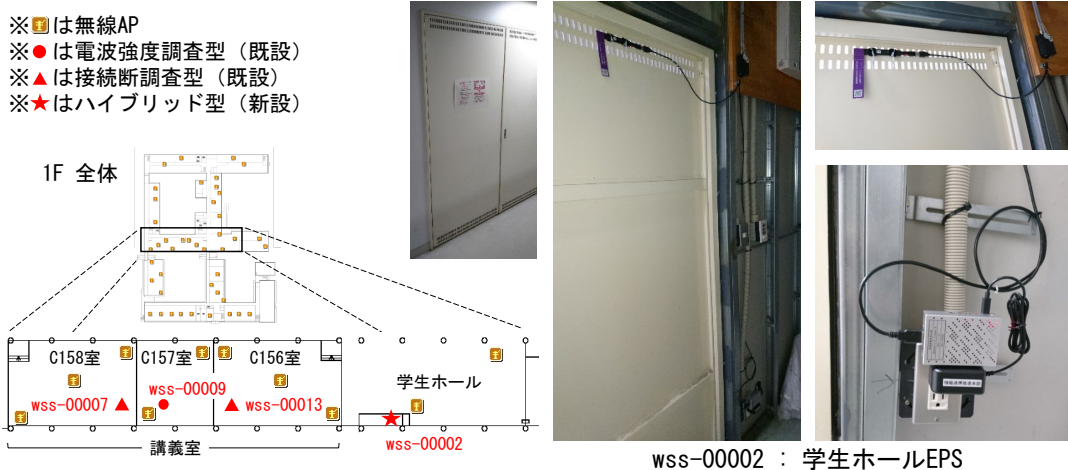


図9 Wi-Fi センサの設置状況（全学教育棟）

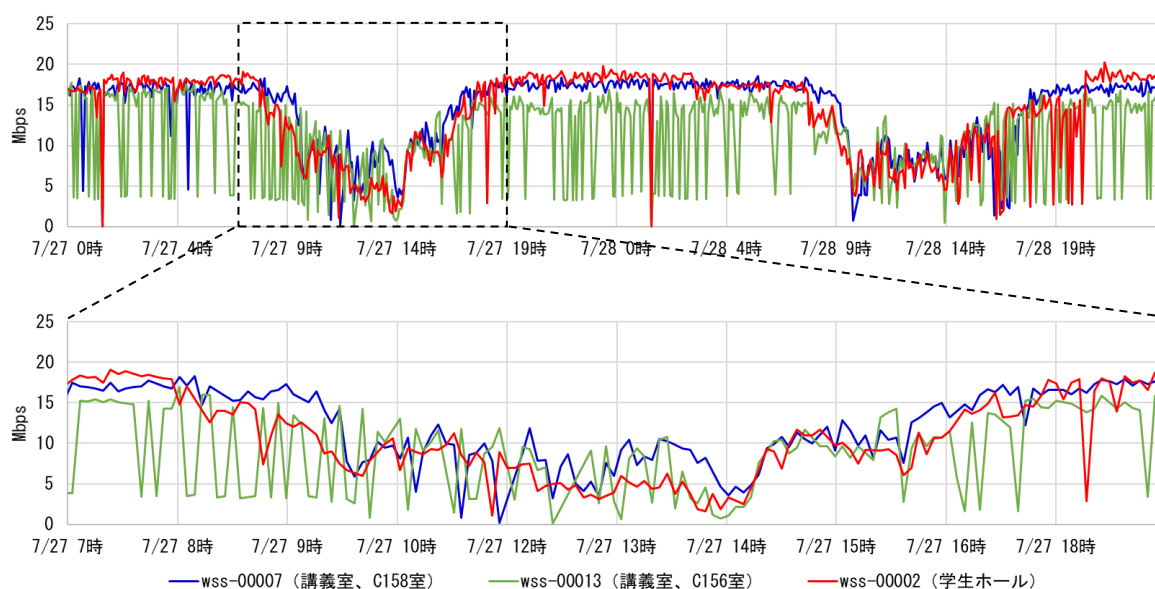


図10 接続断調査の結果（全学教育棟1F、スピードテスト）

センサを追加して、Wi-Fi 環境の調査を行った。

既存の Wi-Fi センサは、電波強度調査と接続断調査のどちらか一方しか実施できない。そこで、2つの調査を同時に行えるハイブリッド型の Wi-Fi センサを作成した。新しい Wi-Fi センサでは、コマンドの実行間隔を分単位とし⁵、電波強度調査と接続断調査の2つの Wi-Fi 調査コマンドを同時に実行し、実行結果を1つの RAW ファイルに保存する。WSS サーバでは、パーサを変更し、1つの RAW ファイルから、電波強度調査と接続断調査の2つの CSV ファイルを生成するようにした。そのため、可視化サーバでは、処理方法を変更す

⁵ スピードテストと Wi-Fi 再接続は既存のセンサと同様に5分毎とした。

ることなく、ダッシュボードを切り替えるだけで電波強度調査と接続断調査の両画面が表示できる。

全学教育棟における Wi-Fi センサの設置状況を図9に示す。既存の Wi-Fi センサは中央1階にある講義室に設置されている（設置期間 2022年5月26日～、Wi-Fi センサは全館で3台）⁶。今回、新たに Wi-Fi センサを中央1階にある学生ホールに追加した（設置期間 2023年7月26日～、Wi-Fi センサは全館で4台となった）。講義室に設置している Wi-Fi センサはAV卓など施錠された場所に設置しているが、学生ホールにはそのような場所が

⁶ 設置当時、全ての Wi-Fi センサを接続断調査型としてたが、その後、一部の Wi-Fi センサを電波強度調査型へ変更している。

表 4 全学教育棟の電波強度比較

		wss-00009		wss-00002	
設置場所		講義室(C157)		学生ホール	
周波数帯		2.4GHz	5GHz	2.4GHz	5GHz
BSSID 毎の電波の強さ(上位10件)	強	-38 dBm	-35 dBm	-35 dBm	-35 dBm
		-38 dBm	-35 dBm	-37 dBm	-35 dBm
		-38 dBm	-35 dBm	-40 dBm	-36 dBm
		-38 dBm	-35 dBm	-42 dBm	-36 dBm
		-38 dBm	-35 dBm	-42 dBm	-36 dBm
	弱	-42 dBm	-42 dBm	-43 dBm	-49 dBm
		-47 dBm	-42 dBm	-43 dBm	-49 dBm
		-51 dBm	-42 dBm	-43 dBm	-49 dBm
		-51 dBm	-42 dBm	-43 dBm	-49 dBm
		-51 dBm	-42 dBm	-43 dBm	-49 dBm

※2023年7月27日7~19時のデータ。■はNUWNET、■は利用者側が持ち込んだWi-Fiルータ。2.4GHzと5GHz帯のBSSIDについて電波の強い上位を電波強度と種類で表示。

ない。そこで、盗難防止のため、Wi-Fi センサを学生ホールに隣接する EPS 内に設置した。Wi-Fi 環境の観測に用いる外付け Wi-Fi アダプタは USB 接続であることを利用して、EPS の扉の上部にある通気用の穴に結束バンドで固定し、Wi-Fi センサ本体は AC アダプタを台にして EPS の扉近くの電源コンセントに設置した。外付け Wi-Fi アダプタと Wi-Fi センサ本体が離れているため、外付け Wi-Fi アダプタと Wi-Fi センサ本体を USB 延長ケーブルでつないだ。

全学教育棟の接続断調査において、講義室 (C158、C156) と学生ホールにおいて、春学期の最後 (2023年7月27日(木)~28日(金)) に観測されたスピードテストの結果を図10に示す。日中時間帯は速度低下が発生し、夕方にかけて通信速度が戻っており、学生ホールだけが講義室と比較して大きく速度低下するようなことはないことが分かった。講義室 (C157) と学生ホールの観測データに基づいて作成した、全学教育棟の電波強度の比較を表4に示す。この表は、2.4と5GHz帯のBSSIDについて、電波の強い上位を電波強度と種類で示したものである。2.4GHz帯については、利用者が持ち込んだWi-Fiルータ(デザリング等)の電波が観測された一方、5GHz帯についてはNUWNETのWi-Fi電波が良好であった。ハイブリッド型のWi-Fiセンサで2つのタイプの調査を同

時に行うことができ、また、学生ホールのWi-Fi環境について、講義室と比べて大きく変わらず、異常が発生していないことが分かった。

4 おわりに

学内向け Wi-Fi 環境観測システムを用いた、Wi-Fi 環境の調査と改善の事例として、NUWNET バックボーンネットワークの改善、学生寮におけるNUWNET環境の改善の試み、ハイブリッド型Wi-Fiセンサの追加について報告した。

今後の課題として、Wi-Fi 環境の調査項目の充実、観測用 Wi-Fi アダプタの更新による 802.11ax (Wi-Fi6) への対応、リアルタイムな可視化等が挙げられる。また、同様の悩みを持つ他の大学等の組織でも利用できるように、システム構成の汎用性を高めたい。

参考文献

- [1] 石原 正也、岩瀬 雄祐、川瀬 友貴、川田 良文、名古屋大学無線ネットワークにおける新 Web 認証システム導入とゲスト専用ネットワークの展開について、令和3年度東海国立大学機構第1回技術発表会、P2、2022年。
- [2] 北口 善明、石原 知洋、高嶋 健人、田川 真樹、田中 晋太郎、Raspberry Pi を用いた無線ネットワーク状態評価手法の提案、情報処理学会研究報告、インターネットと運用技術 (IOT)、Vol. 2014-IOT-25、No. 8、pp. 1-6、2014年。
- [3] 石原 知洋、北口 善明、阿部 博、金子 直矢、IoT コンピューティングデバイスを用いた低コストな無線 LAN 環境計測システム、情報処理学会論文誌デジタルプラクティス (TDP)、Vol. 2、No. 3、pp. 1-10、2021年。
- [4] 天野 辰哉、梶田 宗吾、山口弘純、東野 輝夫、高井 峰生、クラウドソーシングと3次元電波伝搬シミュレーションの併用による効率的なWi-Fi電波データベース構築、情報処理学会論文誌、Vol. 59、No. 2、pp. 450-461、2018年。
- [5] 岩瀬 雄祐、山口 由紀子、川瀬 友貴、石原 正也、嶋田 創、学内向け Wi-Fi 環境観測システムの構築、大学 ICT 推進協議会 2022 年次大会論文集、pp. 229-236、2022年。
- [6] 岩瀬 雄祐、山口 由紀子、川瀬 友貴、石原 正也、嶋田 創、学内向け Wi-Fi 環境観測システムの学外利用のための機能拡張、情報処理学会研究報告、インターネットと運用技術 (IOT)、Vol. 2023-IOT-60、No. 2、pp. 1-8、2023年。