

# 学内向け Wi-Fi 環境観測システムにおける Wi-Fi センサの更新と機能追加

岩瀬 雄祐<sup>1)</sup>, 山口 由紀子<sup>2)</sup>, 川瀬 友貴<sup>1)</sup>, 石原 正也<sup>1)</sup>, 嶋田 創<sup>2)</sup>

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

## Update and Enhancement of the Wi-Fi sensor in Wi-Fi Environment Survey System for Campus

Yusuke Iwase<sup>1)</sup>, Yukiko Yamaguchi<sup>2)</sup>, Yuki Kawase<sup>1)</sup>,  
Masaya Ishihara<sup>1)</sup>, Hajime Shimada<sup>2)</sup>

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。NUWNET ユーザ側の利用実態に即した Wi-Fi 環境の調査を行うため、学内向け Wi-Fi 環境観測システム (WSS) を構築・運用してきた。WSS を用いた Wi-Fi 環境の改善を進める一方、WSS 自体の老朽化が進み、WSS の Wi-Fi センサの更新が必要となった。本稿では、学内向け Wi-Fi 環境観測システムにおける Wi-Fi センサの更新、機能追加、本学で別途運用している NUWNET 可視化システムとの連携について報告する。

## 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) 設置を実施している[1]。

キャンパス別の無線 AP 数の推移を表 1 に示す。2020 年以降、コロナ禍をきっかけに遠隔講義やオンライン会議が本格的に実施されるようになり、NUWNET の Wi-Fi 環境としての重要性が急速に高まり、無線 AP が急増した。その後、新設・改修建物における無線 AP の更新が続く一方、鶴舞地区の病院エリアにおける無線 AP の電子カルテシステム無線 AP に VLAN を引き込んで SSID を出す形態への移行、大幸地区の学生寮における無線 AP の商用回線への移行により、旧型の無線 AP の廃止が増えた。全学をカバーする形での整備は終わり、大幅な増減は起きづらくなり、更新フェーズに突入している。

表 1 キャンパス別の無線 AP 数

年度	2020	2021	2022	2023	2024
東山	1,533	1,537	1,854	1,897	1,876
鶴舞	301	188	214	215	214
大幸	127	127	129	129	81
合計	1,961	1,852	2,197	2,241	2,176

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<sup>1)</sup>を利用した学内向けの Wi-Fi 環境観測システムを構築・運用している[2][3][4]。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ができ、ユーザ側からの通信状態を把握して、ユーザサポートに役立てている。しかしながら、学生の PC やスマートフォンが年々新しくなり、学内に Wi-Fi 6 (802.11ax) 対応のアクセスポイントが増えている一方、2021 年度に初

<sup>1)</sup> <https://www.raspberrypi.com/>

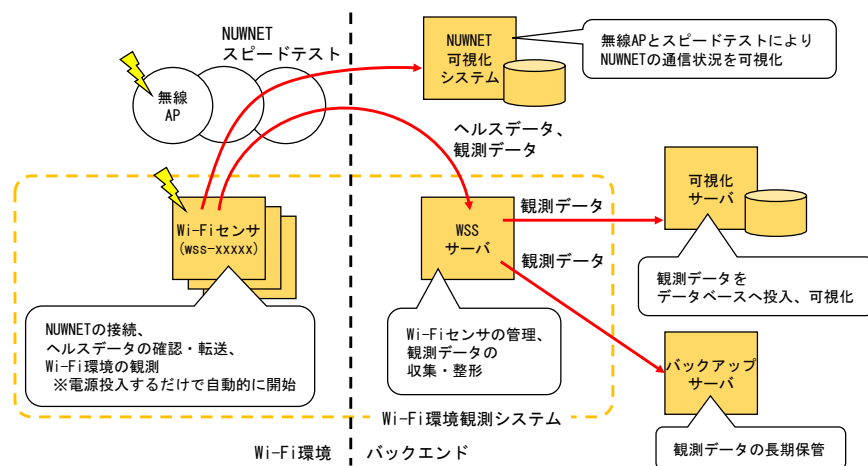


図1 Wi-Fi 環境観測システムとデータの流れ

期構築した Wi-Fi センサは Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) 対応の旧型となり、Wi-Fi センサの更新が必要となっている。Wi-Fi 6 は Wi-Fi 5 以前と比較して無線の基盤的な仕様のレベルから変更が入っており<sup>2</sup>、Wi-Fi センサ側も Wi-Fi 6 で評価できる方が望ましい。

ユーザ側からの通信状態に基づいた、無線 LAN サービスの改善事例が報告されている。静岡大学では、無線 LAN の品質低下の申告のあった講義室について、授業中における無線 LAN 接続の継続性に着目、無線 AP の端末接続情報を集計・分析することで、無線 LAN サービスの改善効果を確認できる手法を確立している[5]。また、九州工業大学では、学内アンケートから得られた要望と、5 年間の利用動向調査に基づいて、無線 LAN システムの更新を行い、実施した改善策の有効性を明らかにしている[6]。ユーザと無線 LAN システムの両方からの通信状況の把握は、無線 LAN サービスの改善に有効であり、Wi-Fi センサの活用方法として無線 LAN システムとの連携が考えられる。

本稿では、学内向け Wi-Fi 環境観測システムにおける Wi-Fi センサの更新、機能追加、本学で別途運用している NUWNET 可視化システムとの連携について報告する。

## 2 Wi-Fi 環境観測システム

### 2.1 システム概要

Wi-Fi 環境観測システム (Wi-Fi environment

<sup>2</sup> OFDMA 方式 (直交周波数分割多元接続) になって、多数のデバイスが同時接続する環境でも、通信の混雑や遅延が軽減した等。

Survey System、以下 WSS) [2][3][4]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 (NUWNET 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、NUWNET 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 へ Wi-Fi 観測用の Wi-Fi アダプタを追加して作成した。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 調査コマンドを実行してデータを収集する。WSS サーバは、Wi-Fi センサのヘルスデータに基づいて死活管理情報を更新、観測データ (RAW ファイル) を収集・パースして CSV ファイルへ整形する。古い観測データは定期的に削除し、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。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



図2 Wi-Fi センサ (左 : 旧型、中央・右 : 新型)

表2 Wi-Fi センサの諸元比較

	旧センサ (Wi-Fi 5)	新センサ (Wi-Fi 6)
型番	Raspberry Pi 4 model B	Raspberry Pi 5
CPU	Broadcom BCM2711 (4 コア、1.8GHz)	Broadcom BCM2712 (4 コア、2.4GHz)
メモリ	4GB	4GB
MicroSD カード	32GB	32GB
Wi-Fi	内蔵 Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n/ac)	内蔵 Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n/ac)
	外付け Wi-Fi アダプタ (BUFFALO WI-U2-433DHP、IEEE 802.11 a/b/g/n/ac)	外付け Wi-Fi アダプタ (ELECOM WDC-X1201DU3-B、IEEE 802.11 a/b/g/n/ac/ax)

型式へ変換して、Elasticsearch<sup>3</sup>へデータ投入する。Grafana<sup>4</sup>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。

### 3 Wi-Fi センサの更新と機能追加

Wi-Fi センサを更新した。新旧 Wi-Fi センサの諸元比較を表2に示す。新センサはRaspberry Pi 5を用いることで本体性能が向上するとともに、外付けWi-Fiアダプタを変更してWi-Fi 6に対応した。Wi-Fi センサの外観を図2に示す。新センサのABS樹脂製公式ケースは、はめ込み式で外れやすいため、蓋をシールで固定している。新旧ともに、Wi-Fi アダプタを本体へ直接接続し、本体と電源アダプタを面ファスナで一体化することで、電源コンセントに接続するだけで、設置を完了し、Wi-Fi 環境

表3 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のスキャン	「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4 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)

の観測を開始できるようになっている。

旧 Wi-Fi センサ開発過程で複数タイプが作成されたが、新 Wi-Fi センサは、電波強度調査と接続断調査の2つの調査を同時に行えるハイブリッド型を標準とした。電波強度調査は、Wi-Fi 調査コマンド「iwlist wlanX scan」を実行して、表3に示したデータを収集する。接続断調査、Wi-Fi アダプタの再起動「nmcli con down/up wlanX」を行い、表4に示したデータを収集する。また、ユーザ側の通信状況を把握するために、ブラウザ動作を模倣したいニーズがあった。そこで、新 Wi-Fi センサはブラウザを自動化する Selenium<sup>5</sup>をインストールし、ユーザ側におけるブラウザ操作を模倣したテストを実施可能とした。

新センサで採用した Raspberry Pi 5 は、電力消

<sup>3</sup> <https://www.elastic.co/jp/elasticsearch/>

<sup>4</sup> <https://grafana.com/oss/grafana/>

<sup>5</sup> <https://www.selenium.dev/>



図 3 NUWNET 可視化システムの各種画面

費が増え、動作が不安定になる場合があった。そこで、Raspberry Pi 5 専用の電源アダプタを準備するとともに、システム障害時にリセットを掛ける watchdog を追加した。

## 4 NUWNET 可視化システムとの連携

### 4.1 NUWNET 可視化システムの概要

NUWNET 利用状況可視化システム (NuWnet SStatistics system、以下 NWST) は、コロナ禍における無線 LAN ニーズの増加に対して、NUWNET の利用状況を可視化するために、2022 年度に構築されたシステムである。本学で使用している各種無線 AP (Aruba、Cisco、HP) から、CPU・メモリ使用率、送受信データ量、ノイズ・SN 比、接続中端末数などを SNMP で定期的に情報を収集し、データベースへ蓄積する機能、蓄積したデータを WebUI で参照できる機能をもつ。また、蓄積したデータに基づいて、NUWNET 利用者へ講義室等における無線 LAN の混雑状況を可視化する機能、ユーザ側からの通信状況を把握するため、NUWNET スピードテストの機能をもつ。

NWST の各種画面を図 3 に示す。利用状況可視化画面は、システム管理者が無線 AP やユーザ端末を検索して、NUWNET の接続や通信状況を確認することができる (図 3—①)。利用状況可視化画面の時系列データの一部は、Grafana でグラフ表示することができる。混雑情報画面は、キャン

パスネットワークに接続したユーザがキャンパスと建物を検索して、講義室における NUWNET の混雑状況を確認することができる (図 3—②)。スピードテスト画面は、NUWNET に接続したユーザがスピードテストを実施して、通信速度を確認することができる (図 3—③)。

利用状況可視化画面は、システム管理者において、ユーザからの問合せ等に対して、Wi-Fi 環境の状態等を、各種無線 AP の状態を統一のユーザインタフェースで過去に遡って調べることができる。混雑情報画面は、学生が学内で受講するオンライン講義や自習等において、Wi-Fi 環境の良い講義室を探したりすることに利用できる。スピードテスト画面は、学生や教職員が Wi-Fi 環境に問題があると感じた場合、ユーザ自ら Wi-Fi 環境の状態を調べることができ、システム管理者からも Wi-Fi 環境を把握することができる。NWST は、システム管理者とユーザの両方において、NUWNET の状態を把握するのに有用なシステムとなっている。

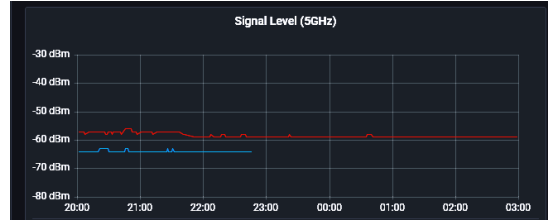
しかしながら、NWST の混雑情報画面と NUWNET スピードテスト画面の利用が少なかった。本学の全学ポータルサイトにおいて、新学期の開始直後に NWST 利用促進を促す掲示を出しているが、統計として利用できるほどデータが集まらなかった。そこで、NWST と WSS を連携させることを考えた。



①WSS：リンクダウン、通信速度の低下

②NWST：接続先の無線APの変化

③NWST：Wi-Fi センサ設置階の無線APの混雑



④WSS：上階の無線APの電波消失

図4 NUWNET 可視化システムと Wi-Fi 環境観測システムを組み合わせた調査例

## 4.2 NUWNET 可視化システムと Wi-Fi 環境観測システムの連携

NWST と WSS の連携は、WSS から NWST における NUWNET スピードテストを実施することで実現する。NUWNET スピードテスト画面は、JavaScript を利用しており、ブラウザ操作の模倣が必要となる。そのため、Wi-Fi センサにおいて、Selenium でブラウザ操作を実現し、NUWNET スピードテスト画面のアクセス、測定実行、測定完了の一連の流れを実行する。また、NWST の Grafana より、WSS 側の可視化サーバのデータを参照することで、NWST 側から WSS における Wi-Fi 環境の観測データを可視化できるようにする。

新 Wi-Fi センサの無線観測設定は、旧 Wi-Fi センサと同様に、電波強度調査、接続断調査を実行しつつ、NUWNET スピードテストも実行する。新 Wi-Fi センサの Wi-Fi 環境の観測スケジュールは以下のようにになっている。

- ・ 5 分毎に実行
  - Wi-Fi 再接続（接続断調査）
  - NUWNET スピードテスト
  - スピードテスト（接続断調査）
- ・ 1 分毎に実行
  - ping 応答（接続断調査）
  - 利用可能な無線 AP のスキャン（電波強度調査）

NWST と WSS を組み合わせた Wi-Fi 環境の調

査例を図4に示す<sup>6</sup>。この例では、Wi-Fi センサを本学の情報基盤センター3階に設置しているが、4階会議室の無線 AP に接続、3階の無線 AP に接続が変わることで通信速度が低下していた。

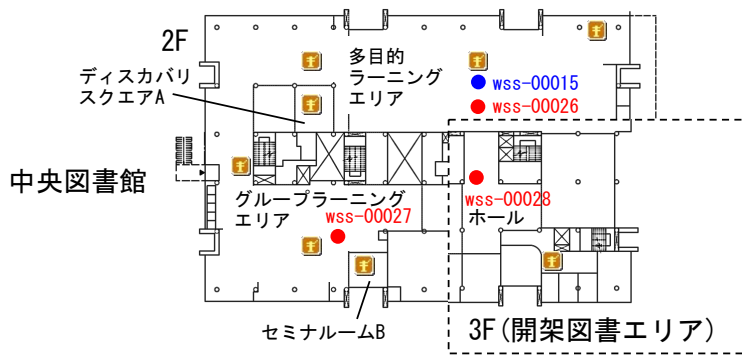
NWST と WSS の可視化画面を確認すると、WSS の接続断調査結果におけるリンクダウンと通信速度の低下（図4—①）、NWST の端末測定情報における Wi-Fi センサの接続する無線 AP の変化（図4—②）、無線 AP 情報における Wi-Fi センサ設置階の無線 AP の混雑（図4—③）、WSS の電波強度調査結果における上階の無線 AP の存在と消失（図4—④）が見つかる。

ユーザは Wi-Fi を使用していても、常にスピードテストや利用可能な無線 AP のスキャンを実施することはない。NWST と WSS を組み合わせることで、無線 LAN システムとユーザの両方からの Wi-Fi 環境のダイナミックな変化を掴むことができる。

## 5 新 Wi-Fi センサの配置

中央図書館と全学教育棟の Wi-Fi センサを更新した。Wi-Fi センサの交換において、中央図書館は Wi-Fi 利用者の多いエリアへ Wi-Fi センサの位置を変更した。また、中央図書館と全学教育棟の一部のエリアに、Wi-Fi 5 の旧センサと Wi-Fi 6 の新センサを併設した。

<sup>6</sup> 2025/8/30 15 時～2025/8/31 3 時の観測データ。



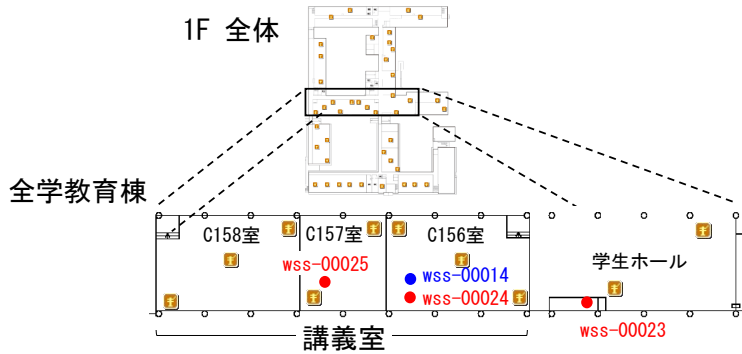
多目的ラーニングエリア (wss-00026、wss-00015)



グループラーニングエリア (wss-00027)



ホール (wss-00028)



C157室 (wss-00025)



C156室 (wss-00014、wss-00024)



学生ホール (wss-00023)


※は無線AP、●はWi-Fi 5センサ、●はWi-Fi 6センサ

図5 新 Wi-Fi センサの配置 (上：中央図書館、下：全学教育棟)

中央図書館に新旧センサを合わせて4台設置した(図5上部)。2階は、ラーニング・コモンズ<sup>7</sup>と呼ばれる学習空間が設けられており、多数の学生が入り、Wi-Fi 接続に関する問い合わせが多い。北側の多目的ラーニングエリアのサポートデスク付近に、Wi-Fi 5 センサ (wss-00015) と Wi-Fi 6 センサ (wss-00026) を設置した。南側のグループラーニングエリアの PC・プリンタ付近に、Wi-Fi 6 センサ (wss-00027) を設置した。3階は、開架図書エリアとなっており、北側と南側には閲覧席が並ぶ。中央のホールにある自動貸出機付近に Wi-Fi 6 センサ (wss-00028) を設置した。

全学教育棟に新旧センサを合わせて4台設置した(図5下部)。中棟1階は、講義室が連なり、中央に学生ホールが存在し、多数の学生が入り、学内で特に Wi-Fi 利用者が多い。学生ホールの EPS 内に、既存センサの配線を流用して、Wi-Fi 6 センサ (wss-00023) を設置した。講義室 (C156 室) に Wi-Fi 5 センサ (wss-00014) と Wi-Fi 6 センサ (wss-00024) を設置した。講義室 (C157 室) に Wi-Fi 6 センサ (wss-00025) を設置した。また、

講義室 (C158 室) から既存センサを撤去し、講義室の調査は3室から2室へ減らした。

中央図書館は、現在では旧式となる Wi-Fi 5 型の無線 AP が多数設置されている<sup>8</sup>。全学教育棟は、Wi-Fi 6 型の無線 AP が多数設置されている<sup>9</sup>。全学教育棟は、中央図書館と比較して、Wi-Fi 利用者が多く、無線 AP の設置密度が高く、無線アクセスコントローラによる集中制御を行っている。

## 6 新 Wi-Fi センサの観測結果

### 6.1 NUWNET 可視化システム

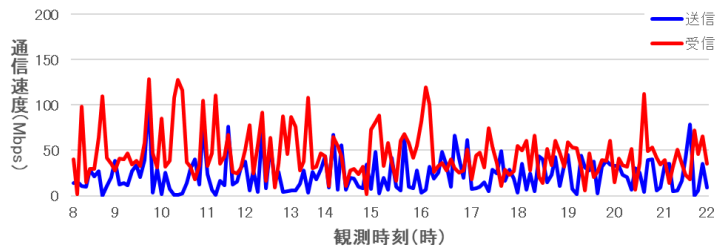
中央図書館 2F に設置した 2 台、ならびに全学教育棟 1F に設置した 1 台の新 Wi-Fi センサの観測結果を確認した<sup>10</sup>。図6は、新 Wi-Fi センサの NUWNET スピードテストの結果となり、各センサ

<sup>8</sup> Cisco Aeronet1702 (IEEE 802.11ac 対応) を多数設置。HPE Aruba IAP-305 (IEEE 802.11ac Wave 2 対応) を一部の施設エリアに設置。

<sup>9</sup> HPE Aruba AP-515 (IEEE 802.11ax 対応) のみ設置。

<sup>10</sup> 中央図書館は 2025/9/24 8時～22時(開館日)、全学教育棟は 2025/9/19 8時～22時(イベント開催時)の観測データ。

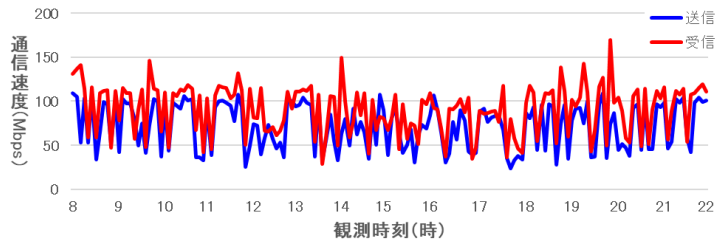
<sup>7</sup> <https://www.nul.nagoya-u.ac.jp/lc/about/>



(A) wss-00015 (Wi-Fi 5、中央図書館 2F 多目的ラーニングエリア)

接続先の無線 AP

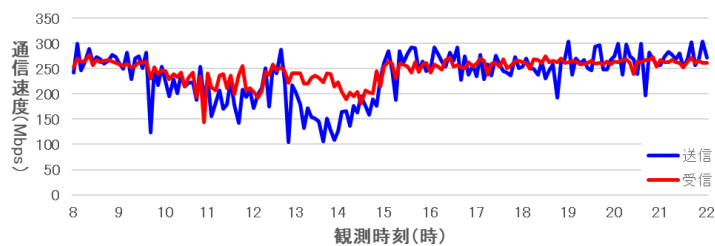
AP	接続割合
ディスカバリスクエア A	77.6%
多目的ラーニングエリア	17.8%
その他	4.6%



(B) wss-00026 (Wi-Fi 6、中央図書館 2F 多目的ラーニングエリア)

接続先の無線 AP

AP	接続割合
多目的ラーニングエリア	43.4%
ディスカバリスクエア A	42.8%
セミナールーム B	13.8%



(C) wss-00023 (Wi-Fi 6、全学教育棟 1F 学生ホール EPS)

接続先の無線 AP

AP	接続割合
学生ホール	87.5%
その他	12.5%

図6 新 Wi-Fi センサの NUWNET スピードテストの結果

について、通信速度と接続先の無線 AP の一覧を示している。

Wi-Fi 5 センサ (図 6—A) と Wi-Fi 6 センサ (図 6—B、C) を比較すると、Wi-Fi 6 センサの方が、通信速度が速くなった。さらに、Wi-Fi 5 の無線 AP が設置された中央図書館 (図 6—B) と Wi-Fi 6 の無線 AP が設置された全学教育棟 (図 6—C) を比較すると、Wi-Fi 6 の無線 AP の方が、通信速度が速くなった。ユーザ端末の Wi-Fi 規格が新しくなり、端末性能が上がることで、たとえ無線 AP 側がクライアント端末側よりも古い規格の無線 AP であっても Wi-Fi 環境が改善することがあることを確認した。

また、中央図書館の Wi-Fi センサ (図 6—A、B) の接続先 AP について、比較的新しい遠方の無線 AP (ディスカバリスクエア A)<sup>11</sup>にも多く接続し

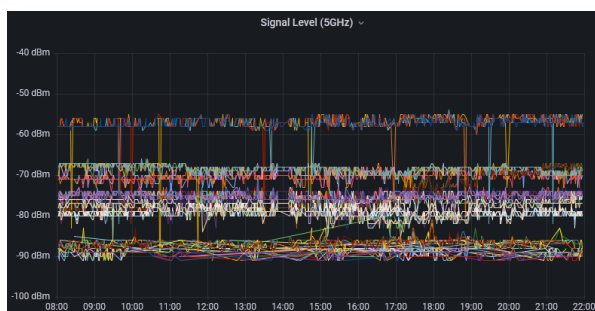
ていた。新旧の無線 AP が混在する場合、新しい無線 AP にアクセスが集中して、Wi-Fi 環境の品質が低下する可能性があることが分かった。

## 6.2 Wi-Fi 環境観測システム

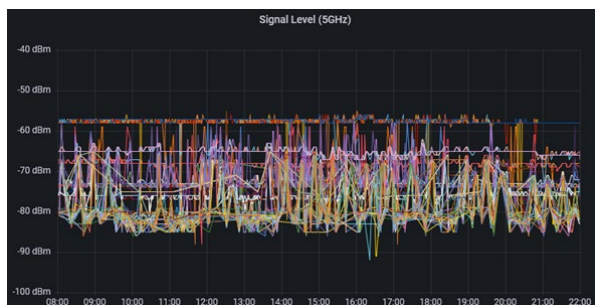
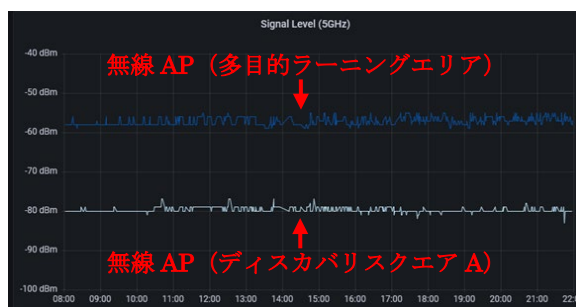
6.1 節で NUWNET スピードテストの結果を確認した中央図書館 2F の新 Wi-Fi センサについて Wi-Fi 環境観測システムで得られた電波強度調査の結果を図 7 に示す。各 Wi-Fi センサにおいて、Wi-Fi スキャンして得られた BSSID 毎の電波強度の時間変化を示している。左側は全 BSSID、右側はセンサの接続先上位 2 つの無線 AP の BSSID を抽出したものである。

中央図書館 2F の新 Wi-Fi 6 センサは電波強度が弱いディスカバリスクエア A の無線 AP にも多目的ラーニングエリアの無線 AP と同様に接続しており、電波強度を調整しても、ユーザ端末の接続先を調整することが難しい場合があることが分かった。

<sup>11</sup> HPE Aruba IAP-305 を設置したエリア。同 AP はアクセス集中を弱めるため、電波出力を弱めている。



(A) wss-00015 (Wi-Fi 5、中央図書館 2F 多目的ラーニングエリア)



(B) wss-00026 (Wi-Fi 6、中央図書館 2F 多目的ラーニングエリア)

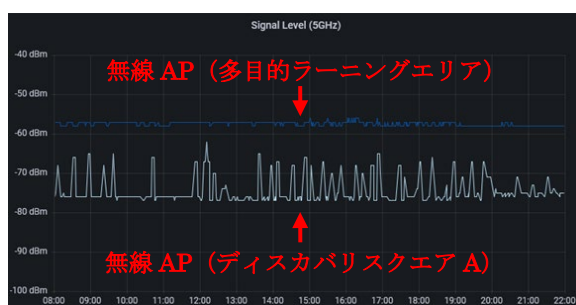


図 7 新 Wi-Fi センサの電波強度調査の結果 (左：全体、右：接続先上位)

## 7 おわりに

本稿では、学内向け Wi-Fi 環境観測システムにおける Wi-Fi センサについて、Wi-Fi 6 に対応、端末性能の向上とともに、ブラウザ動作を模倣できる機能を追加した。本学で別途運用している NUWNET 可視化システムに対して、Wi-Fi センサから NUWNET スピードテストを定期実行することで、NUWNET 可視化システムにおいて、Wi-Fi センサをユーザ端末とするデータを得られるようにした。Wi-Fi ユーザ数が多い本学の中央図書館と全学教育棟について、Wi-Fi センサの入替えを実施し、Wi-Fi 環境の観測体制を更新した。Wi-Fi 環境観測システムと NUWNET 可視化システムを相補的に用いることで、ユーザ端末と無線 AP との双方から Wi-Fi 環境を把握できることを確認した。

Wi-Fi センサの Wi-Fi 6 対応によって、Wi-Fi 5 では問題があった Wi-Fi 環境が改善された場合、ユーザ端末の Wi-Fi 6 化による Wi-Fi 環境の改善を見込んで、無線 AP の増強整備を省くことができる可能性がある。今後の課題として、Wi-Fi センサの設置台数の増加による Wi-Fi 環境の観測点の増加、Wi-Fi センサ上のブラウザ動作で調査できる項目の追加、システム連携のさらなる強化が挙げられる。

## 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] 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とその応用、学術情報処理研究、Vol. 27、No. 1、pp. 157-166、2023 年。
- [3] 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。
- [4] 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 環境観測システムを用いた Wi-Fi 環境の調査と改善、大学 ICT 推進協議会 2023 年次大会論文集、pp. 398-405、2023 年。
- [5] 山崎 國弘、永田 正樹、長谷川 孝博、大学 ICT 推進協議会 2023 年次大会論文集、pp. 392-397、2023 年。
- [6] 福田 豊、中村 豊、佐藤 彰洋、和田 数字郎、岩崎 宣仁、無線 LAN 利用状況調査に基づいて策定した改善策の検証、情報処理学会論文誌デジタルプラクティス、Vol.3、No.3、pp. 1-9、2022 年。