

[大学 ICT 推進協議会 2024 年度年次大会論文集より]

6GHz 帯を利用した次世代キャンパス無線 LAN 環境の検証と課題

原田 寛之¹⁾, 後藤 英昭²⁾, 漆谷 重雄³⁾

1) 札幌学院大学 情報処理課

2) 東北大学 サイバーサイエンスセンター

3) 国立情報学研究所

se-harada@e.sgu.ac.jp

Survey of Next Generation Campus Wireless LAN Environment Using 6GHz Band and Issues

Hiroyuki Harada¹⁾, Hideaki Goto²⁾, Shigeo Urushidani³⁾

1) Information Processing Division, Sapporo Gakuin University

2) Cyberscience Center, Tohoku University

3) National Institute of Informatics

概要

無線 LAN において、日本国内でも 2022 年より新たに 6GHz 帯の電波を使用する Wi-Fi 6E が、2023 年 12 月に Wi-Fi 7 が利用可能となった。大学の教室のように多人数が同時に無線 LAN を使用する環境下においては、従来の 2.4/5GHz 帯の混雑を避けるため可能な限り 6GHz 帯での利用に誘導したいニーズがある。但し 6GHz 帯での接続には WPA3 が必須となったこともあり、最新の利用者端末と従来の利用者端末が幅広く混在する教育現場においては、その構築に様々な懸念点が存在する。札幌学院大学ではキャンパス無線 LAN 環境の一部更改を控え、欧州など海外での検証報告を参考に Wi-Fi 6E および Wi-Fi 7 で利用可能な eduroam と OpenRoaming 環境の試験的な構築と検証を行ったので報告する。

1 はじめに

無線 LAN における周波数帯としては長らく 2.4GHz 帯と 5GHz 帯が利用されてきた。日本国内でも 2022 年より新たに 6GHz 帯の無線 LAN の利用が認可され、Wi-Fi 6E の製品が登場したことに加え、2023 年 12 月には Wi-Fi 7 が利用できるようになった。2.4GHz 帯は遮蔽物に強くエリアが広く確保できるメリットと、周波数帯域の狭さ（全体で 82MHz 幅・選択可能チャンネル数 3）のため干渉しやすいデメリットがある。一方の 5GHz 帯は周波数帯域の広さ（全体で 400MHz 幅・選択可能なチャンネル数は最大 20）から干渉が少なく安定しているが、現在の接続クライアントはほぼ 5GHz 帯に対応しているため、帯域を利用する通信がひっ迫しつつある。また、利用チャンネルによってはレーダーへの干渉を避けるためレーダー波を検知した場合に自動で 60 秒間電波の発信を停止する機能が搭

載されており（DFS）、多くのチャンネルを組み合わせて構築する大学キャンパスでは置局設計やチャンネル設計に制約が生じる場合がある。

6GHz 帯の無線 LAN での周波数帯域は新たに 480MHz 幅が現在日本国内では割り当てられており、確保できるチャンネル数が増加したことに加え、レーダー干渉がなく DFS による停波の影響がないためより安定した多クライアントの通信が可能である。一方で、6GHz 帯を利用する Wi-Fi 6E の運用においては暗号化方式として WPA3 の利用が必須となっている。

教育・研究機関向けの無線 LAN ローミング基盤である eduroam[1] においては従来よく使われてきた WPA2 Enterprise に対し、WPA3 Enterprise の対応が基地局・接続端末共に必要となる。しかしながら、大学キャンパスにおける接続端末には様々なものがあり、WPA3 Enterprise に対応していないものも存在する。また eduroam はローミング基盤であるため、自

機関の利用者が他機関の eduroam 基地局に接続可能であることと、他機関の eduroam 利用者が自機関の eduroam 基地局に接続可能なことが共に重要である。

そこで本報告では Wi-Fi 6E や Wi-Fi 7 の基地局に実装されている機能を用いて 6GHz 帯を含めて構築した eduroam および市民一般向けに札幌学院大学キャンパス全域で運用している OpenRoaming[2]において、Wi-Fi 6E や Wi-Fi 7 の 6GHz 帯/WPA3 Enterprise による接続をサポートしている最新端末での利用と、同じ基地局での 2.4/5GHz 帯において WPA3 Enterprise をサポートしない古い端末の共存の可能性について、その検証と課題の洗い出しを試みた。

2 WPA3 のモード

6GHz 帯における無線 LAN 構築時に必須となっている WPA3 において、eduroam で必要な 802.1X 認証を使用する WPA3 Enterprise における従来の WPA2 Enterprise との違いは保護された管理フレーム (IEEE 802.11w Protected Management Frames, PMF) のサポート要件が挙げられる。

WPA2 Enterprise において PMF のサポートは任意であるが、WPA3 Enterprise においては必須である。WPA3 Enterprise は PMF を使用する WPA2 Enterprise とも言える。

WPA3 Enterprise においては、以下のモードが存在する[3]。

- WPA3 Only mode
WPA3 非対応のクライアントを接続させず、WPA3 対応クライアントのみを接続させる。
- WPA3 Transition mode
同一 SSID において、WPA3 に対応する端末は WPA3 で、WPA2 までしか対応していない端末は WPA2 で接続を受け入れる。
- WPA3 192-bit mode
CNSA で定められた暗号スイートに対応したクライアントでしか接続できないモードであり、高度な保護が必要なサービスに用いられる。欧州 GÉANT からの 2018 年のアド

バイザリ[4]では、eduroam においては接続の互換性の観点から強く非推奨となっており、2022 年の eduroam での Wi-Fi 6E 展開に関する考慮事項のアナウンス[5]でも変更されていない。

2.1 Wi-Fi 6E / Wi-Fi 7 でのサービス提供における選択肢

上記の 3 つのオプションを比較検討すると、Wi-Fi 6E または Wi-Fi 7 で無線 LAN サービスの構築を行う際に取りうるる選択肢として以下の 4 つが考えられる。

- A) 2.4/5/6GHz 帯の SSID は同一とし、WPA3 Only mode を使用する。WPA2 においては KRACKs[6]と呼ばれる脆弱性が報告されており、理想的にはこの形が望ましいが、WPA3 をサポートしない古い端末が利用できないことを許容する必要がある。
- B) 2.4/5GHz 帯の SSID は WPA2 とし、6GHz 帯は別の SSID で WPA3 にてサービス提供する。利用者へは 6GHz 帯が利用できる端末 (=WPA3 をサポートする端末) では 6GHz 帯の別の SSID に接続するように周知する。利用者の利便性は低下する。
- C) 2.4/5GHz 帯においては WPA2 Enterprise を、6GHz 帯においては WPA3 Enterprise を設定し、両者の SSID は同一に設定する。基地局内部の Wireless LAN (WLAN) 設定についてはそれぞれ独立させる。但しこの構成は多くの無線 LAN 基地局においては設定することができない。また、Mark Houtz の調査と実証実験 [7] によれば、この構成においては 6GHz 帯を利用する端末が 2.4GHz 帯/5GHz 帯に接続変更する際はローミングではなく内部的には別の WLAN への移動となるため、音声通話など一時的な切断も許容できない用途では問題となる。
- D) 2.4GHz 帯/5GHz 帯/6GHz 帯の SSID を同一とし、WPA3 Enterprise Transition Mode を

使用する。6GHz 帯をサポートするすべての端末は WPA3 Enterprise もサポートするため、WPA3 Enterprise での接続に問題は生じない。また 6GHz 帯域をサポートしていないが WPA3 Enterprise Transition Mode をサポートする端末は、2.4 / 5GHz 帯において接続が可能である。WPA3 Enterprise をサポートしていないデバイスは 2.4/ 5GHz 帯にて WPA2 Enterprise での接続が可能である。ただしこの WPA3 Enterprise Transition Mode をサポートする基地局は限られ、Juniper Mist および Aruba (ArubaOS 8.11 以降) で構成が可能であることが示されている[8]。加えて Extreme Networks 製品においては本調査では ExtremeCloud IQ Controller による Centralized-mode を使用する場合は設定が可能であった(後述)。

3 WPA3 をサポートしない端末の調査

3.1 規格の公開時期

WPA3 は、2017 年に公開された KRACKs 脆弱性を受けて Wi-Fi Alliance が 2018 年に新たに公開した規格であり、同アライアンスから「Wi-Fi CERTIFIED 6」の認証を取得する上では対応が必須となっている。このため、2018 年より前に発売され最新規格へのアップデートに対応していない端末については利用できないことが想定される。

3.2 Apple デバイス

Apple のサポートサイト[9]によれば、WPA3 をサポートしているのは以下の世代の製品に限られる。

- iPhone 7 以降
- iPad 第 5 世代以降
- Apple TV 4K 以降
- Apple Watch Series 3 以降
- Mac コンピュータ (Late 2013 以降, 802.11ac 以降に対応)

また、PMF をサポートしているのは以下の世代の製品に限られる。

- iPhone 6 以降
- iPad Air 2 以降
- Apple TV HD 以降
- Apple Watch Series 3 以降
- Mac コンピュータ (Late 2013 以降, 802.11ac 以降に対応)

うち、特に iPhone 等のスマートフォンデバイスやタブレットについては古い機種が長く使われているケースがあり注意が必要である。

3.3 Android デバイス

Android においては 2019 年にリリースされた Android 10 にて WPA3 のサポートが追加された[10]。但し実際のサポート状況は更にデバイスメーカーの OS 実装状況による。

3.4 Windows OS

Microsoft は Windows 10 にて WPA3 をサポートした。但し実際のサポート状況は更にワイヤレス LAN のドライバに依存する[11]。

Windows 8.1 については 2023 年 1 月 10 日にサポートが終了しており、本学でも利用者には端末の更新を行うようアナウンスしている。

4 試験環境の構築

eduroam にて 6GHz 帯を併用する試験環境として、札幌学院大学江別キャンパスの G 館 6 階～8 階に Extreme Networks の Wi-Fi 6E 基地局 AP5010 を 9 基設置した。内訳は各フロアに 3 台ずつとしている。このエリアはキャンパスの他の基地局とは比較的隔離された上層階にあり、試験に適している。試験環境は学生教職員の食堂および多目的利用のエリアとして開放されており、接続検証以外にも常時利用が可能となっている。

設置した AP5010 基地局は、Extreme Cloud IQ Controller (Version 10.10.02) に收容し、単一の WLAN プロファイルで 2.4/5/6GHz 帯全てにおいて SSID: eduroam にて WPA3 Enterprise

Transition Mode で動作するよう設定した。また加えて、同様の設定の他メーカー機種として学内の別のエリアにて Aruba の Wi-Fi 6E 基地局 AP655 を Aruba Controller (ArubaOS 8.12) に收容し同様に 2.4/5/6GHz 帯全てで SSID : eduroam を WPA3 Enterprise Transition Mode で動作するよう設定した。これらはいずれも 2.4 項で述べた設定手法の D に該当する。

キャンパス内の従来のエリアにおいては Aruba Controller (ArubaOS 8.10 および 8.12) に收容した Aruba アクセスポイント、Extreme VX9000 コントローラに收容した Extreme アクセスポイントがそれぞれ配置されており、eduroam は WPA2 Enterprise で PMF を使用可能 (optional) な設定で運用している。加えて、比較検証用に WPA2 Enterprise で PMF を無効 (disabled) にした基地局を Aruba Controller (ArubaOS 8.12) で、WPA3 only で 2.4/5/6GHz 帯を動作させる環境を Cisco Meraki (CW9166I / MR 30.7) で準備した。

5 試験環境における検証

5.1 6GHz 帯をサポートするデバイスによる接続

6GHz 帯を Wi-Fi 6E で利用可能な iPhone 15 Pro Max (iOS 18.0)、および Fujitsu LIFEBOOK U7313/N (Windows 11 Pro 23H2, Intel AX211 23.20.04) において、試験環境内で接続検証を行った。

iOS による接続検証においては、検証端末が 6GHz 帯での eduroam 接続を問題なく行えること、2.4/5GHz 帯も合わせて利用可能な場合でも自動的に 6GHz 帯が選択されることを確認した。また試験環境外の他の基地局にて 2.4/5GHz 帯のみサービス提供されているエリアでも特段の設定変更なく eduroam へ接続可能なことが確認できた。さらに、eduroam への初回の接続が WPA3 Enterprise の 6GHz 帯の環境下であった場合も、WPA2 Enterprise の 2.4/5GHz 帯の場合も、相互に接続可能であることを確認した (図 1)。

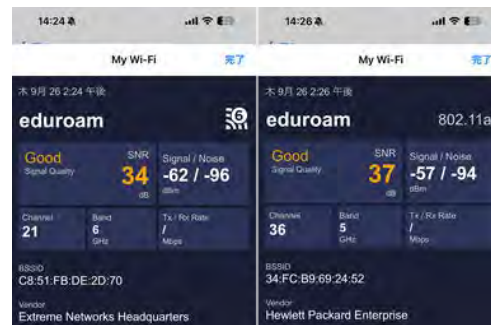


図 1 iPhone 15 Pro Max による 6GHz 帯 eduroam と 5GHz 帯 eduroam への接続

Windows 11 における動作検証においては、6GHz 帯、2.4/5GHz 帯それぞれで接続は行えるものの、WPA3 Enterprise Transition Mode など WPA3 Enterprise が有効なエリアで eduroam への初回接続を実施した場合と、WPA2 Enterprise までしかサポートされていない基地局の配下で初回接続を実施した場合は以下のように挙動が異なることを確認した。

- WPA3 Enterprise をサポートする基地局または WPA2 Enterprise で PMF が使用可能な基地局に対する初回接続を行った場合は authentication が WPA3ENT として保存される (図 2 上)。この WPA3ENT は、WPA3 を必須とするモードである。
- WPA2 Enterprise のみをサポートしかつ PMF が無効な基地局のエリアで初回接続を設定した場合は WPA2 となる (図 2 下)。この WPA2 モードは、WPA2/WPA3 両方を含むという意味である。

このため、当該プロファイルの設定内容が WPA3ENT の場合、周波数帯を問わず基地局が WPA3 Enterprise をサポートしている場合は問題なく接続することができるが、基地局が WPA2 Enterprise でかつ PMF が無効と設定されている場合は接続に失敗する (図 3)。

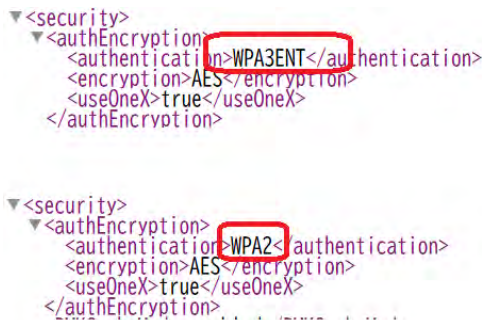


図 2 Windows で保存された wlan プロファイルの一部（上：WPA3（専用）モード，下：WPA2 モード）

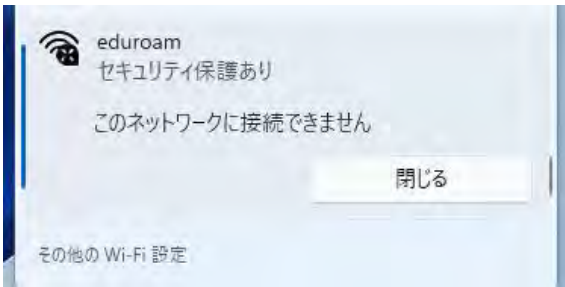


図 3 WPA3ENT で設定されたプロファイルを持つ Windows 11 の WPA2 Enterprise/PMF 無効基地局への接続失敗

		基地局側の設定		
		WPA3 Enterprise	WPA2 Enterprise (PMF有効)	WPA2 Enterprise (PMF無効)
Windows の wlan プロファイル	WPA3ENT	○	○	× (接続不可)
	WPA2	○	○	○

図 4 Windows の wlan プロファイルの違いによる接続可否

プロファイルが WPA3ENT で設定された場合であっても、WPA2 Enterprise 基地局において PMF が使用可能（または必須）に設定されている場合は接続が可能であるが、世界の eduroam 基地局の全てで PMF が使用可能に設定されているとは限らないため、注意が必要である（図 4）。

実機での検証としては、Fujitsu LIFEBOOK U7313/N (Windows 11 Pro 23H2, Intel AX211 ドライバ 23.20.04) において、まず Aruba

Controller (ArubaOS 8.12) に收容した WPA3 Enterprise Transition Mode の eduroam 基地局（2.4/5/6GHz）において、SSID をクリックして接続設定を手動で行い、wlan プロファイルが WPA3ENT で保存されることを確認した。またこの状態の検証端末が別の Aruba Controller (ArubaOS 8.10) に收容した PMF が使用可能に設定された WPA2 Enterprise の eduroam 基地局においても接続が行えることを確認した。加えて、この状態の検証端末は WPA2 Enterprise で PMF が無効に設定されている基地局 (Aruba Controller /ArubaOS 8.12 / AP-505H) においては接続に失敗することを確認した。

6GHz 帯を有効に利用してもらうためには WPA3ENT での設定が望ましいが、eduroam においてはその性質上学外の外部機関や事業者の基地局に接続利用することも常であることから、WPA2 Enterprise で PMF を無効にした状態に留めた基地局を運用している機関が存在する場合は利用者の相互利用において問題が発生することが考えられる。現在のところ、WPA3ENT での接続設定が生成される環境を運用する場合は、機関の外部で接続できない場合は一旦接続設定を削除し現地で再接続する（あるいは接続設定を変更する）よう案内が必要となるものと思われる。また、WPA2 Enterprise において PMF を使用可能 (optional) なモードに設定することの弊害は見受けられないため、各 eduroam 加入機関・事業者においても PMF が使用可能な状態で運用されることが望ましいと考えられる。

一方、当該プロファイルの設定内容が WPA2 となっている場合 (WPA2 Enterprise のみをサポートしかつ PMF が無効な基地局のエリアで初回接続を設定) も、デバイスが 6GHz 帯をサポートしており、かつ 6GHz 帯をサービス提供している試験環境エリア内で接続を行った場合には 6GHz 帯での接続が可能であった。この際、端末

SSID:	eduroam
プロトコル:	Wi-Fi 6 (802.11ax)
セキュリティの種類:	WPA2-エンタープライズ
製造元:	Realtek Semiconductor Corp.
説明:	Realtek 8852CE WiFi 6E PCI-E NIC
ドライバーのバージョン:	6001.16.150.600
サインイン情報の種類:	Microsoft: 保護された EAP (PEAP)
ネットワーク帯域:	6 GHz
ネットワークチャンネル:	69

SSID:	eduroam
プロトコル:	Wi-Fi 6 (802.11ax)
セキュリティの種類:	WPA3 - エンタープライズ
製造元:	Realtek Semiconductor Corp.
説明:	Realtek 8852CE WiFi 6E PCI-E NIC
ドライバーのバージョン:	6001.16.150.600
サインイン情報の種類:	Microsoft: 保護された EAP (PEAP)
ネットワーク帯域:	6 GHz
ネットワークチャンネル:	69

図 5 Windows の wlan プロファイル設定内容の違いによる接続状態の違い（上：WPA3ENT, 下：WPA2）

側の表示は 6GHz 帯への接続時においても“WPA2-エンタープライズ”となり（図 5 上, Aruba Controller おける端末接続表示は WPA3 AES_CCMP_128, ExtremeCloud IQ-Controller 側の端末接続表示は Capabilities : PMF, WPA2）接続プロファイルの設定内容が WPA3ENT である場合（図 5 下）と異なっている。この挙動については、Intel AX211 とは別の無線 LAN チップ（Realtek 8852CE Wi-Fi 6E）を搭載する HP ProBook 410 G10（Windows 11）においても同様であることを確認した。

eduroam への初回接続設定については、SSID をクリックして接続する方式に変えて geteduroam [12] などプロファイル設定用のアプリケーションも用意されている。この場合は現状基地局の状況に関わらず WPA2 でプロファイルが生成されることを確認した。本学では別途 LTE/5G など通信が行えるスマートフォンにおいては geteduroam アプリでの eduroam 初回接続設定投入を案内するように移行しつつあ

るが、Windows においては別の通信方法が学内に用意されていない（geteduroam アプリでの設定にはインターネット接続が必要）ため、今後手動での設定を案内することになろうと想定される。

5.2 6GHz 帯をサポートしないデバイスによる接続

6GHz 帯は利用できないが WPA3 Enterprise は利用できる端末として、Windows 11 が動作する ASUS ExpertBook B9450FA（Intel AX201：ドライバ 23.20.04）にて接続検証を行った。

Aruba Controller（ArubaOS 8.12）に収容した WPA3 Enterprise Transition Mode の eduroam 基地局（2.4/5/6GHz）において、2.4/5GHz 帯で WPA2 Enterprise で接続できることを確認した。

また ExtremeCloud IQ Controller 10.10.02 に収容した WPA3 Enterprise Transition Mode の eduroam 基地局（2.4/5/6GHz）において、2.4/5GHz 帯で WPA2 Enterprise で接続できることを確認した。

また、WPA3 Enterprise Transition Mode で動作している基地局のエリアで初回接続した場合、wlan プロファイルの authentication 値は WPA2 として設定が生成されることを確認した。加えて、WPA2 Enterprise で PMF が有になっている基地局のエリアで初回接続した場合は、wlan プロファイルの authentication 値は 6GHz 帯をサポートする Windows 11 での検証とは異なり、常に WPA2 として設定が生成されることを確認した。

5.3 6GHz 帯も WPA3 もサポートしない端末による接続

6GHz 帯も WPA3 もサポートしない端末として、Apple iPad mini（第 1 世代）/ iOS 9.3.5（2016 年 8 月 26 日公開）での接続検証を行った。

Aruba Controller（ArubaOS 8.12）に収容した WPA3 Enterprise Transition Mode の eduroam 基地局（2.4/5GHz）において、2.4/5GHz 帯で WPA2 Enterprise で接続できることを確認した。

また ExtremeCloud IQ Controller 10.10.02 に

収容した WPA3 Enterprise Transition Mode の eduroam 基地局（2.4/5/6GHz）において、2.4/5GHz 帯で WPA2 Enterprise で接続できることを確認した。WPA3 Enterprise Transition Mode での WPA3 非対応端末の WPA2 Enterprise での利用については、2024 年現在にまだ使われている可能性がある端末を考えても概ね問題ないものと言える。

5.4 OpenRoaming 環境におけるそれぞれの端末の接続

OpenRoaming の利用にあたっては、事業者が発行する接続プロファイルをインストールする方式が使用されている[13]。本学の各基地局は eduroam に加えて OpenRoaming が利用できるような構成されており、各環境下で同様の検証を行った。

Windows 向けに発行されている接続プロファイルにおいては、現状 wlan プロファイルが WPA2 で設定されているため、eduroam と同様にデバイスが 6GHz 帯をサポートしており、かつ 6GHz 帯をサービス提供している試験環境エリア内で接続を行った場合には 6GHz 帯での接続が可能であることを確認した。

6 まとめ

本検証においては、2.4/5/6GHz 帯の SSID を同一とした上で、2.4/5GHz 帯では PMF を使用可能（optional）とした構成（WPA3 Enterprise Transition Mode）において、概ね現在本学で利用が想定される学生・教職員・学外者の接続が問題ないことを示した。

しかしながら、6GHz 帯が使用可能な Windows 端末においては、WPA2 Enterprise でかつ PMF が無効となっている eduroam 基地局においては接続できない場合が発生することを確認し、その運用には注意が必要であることを示した。なんらかの理由で eduroam 基地局の設定を WPA2 Enterprise に留めている場合においても PMF を使用可能に設定することの弊害は見受けられな

いことから、eduroam 全体の安定稼働のためには PMF を使用可能な状態に設定するよう各機関に働きかけていくことが必要と考えられる。

なお、さらに Wi-Fi 7 においては Multi-Link Operation (MLO) と呼ばれる複数の周波数帯域の同時利用などの新機能があり、本学においても Wi-Fi 7 が利用可能な AP5020 などの機種にて今回の検証構成を引き継ぐ形での運用に問題がないか検証を進めている。2024 年 10 月現在では Wi-Fi 7 の新機能を国内で動作させることが可能な端末が各 OS 共に十分でなく、今後他機関とも連携して検証を進めていきたい。

本研究の一部は、令和 6 年度国立情報学研究所公募型共同研究の助成を受けた。

参考文献

- [1] eduroam JP: <https://www.eduroam.jp/> (2024 年 10 月 17 日参照)
- [2] WBA OpenRoaming: <https://wballiance.com/openroaming/> (2024 年 10 月 17 日参照)
- [3] Wi-Fi Alliance, “WPA3™ Specification Version 3.3.” : <https://www.wi-fi.org/file/wpa3-specification/> (2024 年 10 月 17 日参照)
- [4] GÉANT, “eduroam® and Wi-Fi CERTIFIED WPA3™ Security.” : <https://eduroam.org/eduroam-and-wpa3/> (2024 年 10 月 19 日参照)
- [5] GÉANT, “eduroam Deployment Considerations on Wi-Fi Certified 6E.” : <https://eduroam.org/eduroam-deployment-considerations-on-wi-fi-certified-6e/> (2024 年 10 月 19 日参照)
- [6] Key Reinstallation Attacks: <https://www.krackattacks.com/> (2024 年 10 月 19 日参照)
- [7] Mark Houtz, “eduroam + 6Ghz + WPA3 - Enterprise (Part 2).” : <https://markhoutz.com/2023/03/14/eduroam-6ghz-wpa3-enterprise/> (2024 年 10 月 17 日参照)
- [8] Mark Houtz, “eduroam + 6Ghz + Vendors (Part 3).” : <https://markhoutz.com/2023/04/04/eduroam-6ghz-vendors/> (2024 年 10 月 17 日参照)
- [9] Apple inc., “Apple プラットフォームのセ

キュリティ.” :

<https://support.apple.com/ja-jp/guide/security/sec8a67fa93d/web>

(2024 年 10 月 17 日参照)

- [10] Android オープンソースプロジェクト,
“WPA3 と Wi-Fi Enhanced Open.” :

<https://source.android.com/docs/core/connect/wifi-wpa3-owe?hl=ja>

(2024 年 10 月 17 日参照)

- [11] Intel Corporation, “インテル® ワイヤレス・アダプターでの Wi-Fi Protected Access 3 (WPA3) のサポート.” :

<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/support/articles/000054783/wireless.html>

(2024 年 10 月 17 日参照)

- [12] geteduroam: <https://geteduroam.app/>

(2024 年 10 月 17 日参照)

- [13] 一般社団法人無線認証連携協会,
“OpenRoaming の使い方” :

<https://cityroam.jp/usage/usage-or>

(2024 年 10 月 17 日参照)