

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 札幌学院大学
後藤英昭 東北大学
漆谷重雄 国立情報学研究所



6GHz帯Wi-Fiの登場

Wi-Fi 6E (2022年～)

Wi-Fiにおける新しい電波帯域の追加は 5GHz帯 (1999年) 以来
5945～6425 MHz 帯 (480MHz幅) が利用できる

(米国では6425～7125 MHz帯も利用可)

チャンネルの占有周波数帯最大幅は 160MHz

6GHz帯は航空/気象レーダーとの干渉がないためDFSが不要

※ DFS(Dynamic Frequency Selection) : 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

暗号化方式としてWPA3の利用が必須

Wi-Fi 7 (2023年12月～)

利用できる帯域はWi-Fi 6Eと同じ

チャンネルの占有周波数帯最大幅は320MHzまで

4096-QAM, 複数の周波数帯の同時使用 (MLO) など

6GHz帯を利用したキャンパス無線LANに求めるもの

教室内などで多数の端末の接続を捌くためには
6GHz帯に対応している端末は自動的に（空いている）
6GHz帯を使ってほしい（バンドステアリング等）

ただし6GHz帯でのサービス提供にあたって
なるべく（利用方法などの）周知・広報の手間は抑えたい

2.4/5GHz帯にしか対応しない端末の接続も
従来通り可能な構成としたい

eduroamにおける暗号化方式

従来は WPA2 Enterpriseがよく使われてきた

6GHz帯では WPA3の利用が必須

eduroamで6GHz帯を使うためには、WPA3 Enterpriseの対応が
基地局・接続端末共に必要



しかし，大学キャンパスではWPA3 Enterprise非対応の端末も含め
様々な端末がつながる

eduroamはローミング基盤であるため

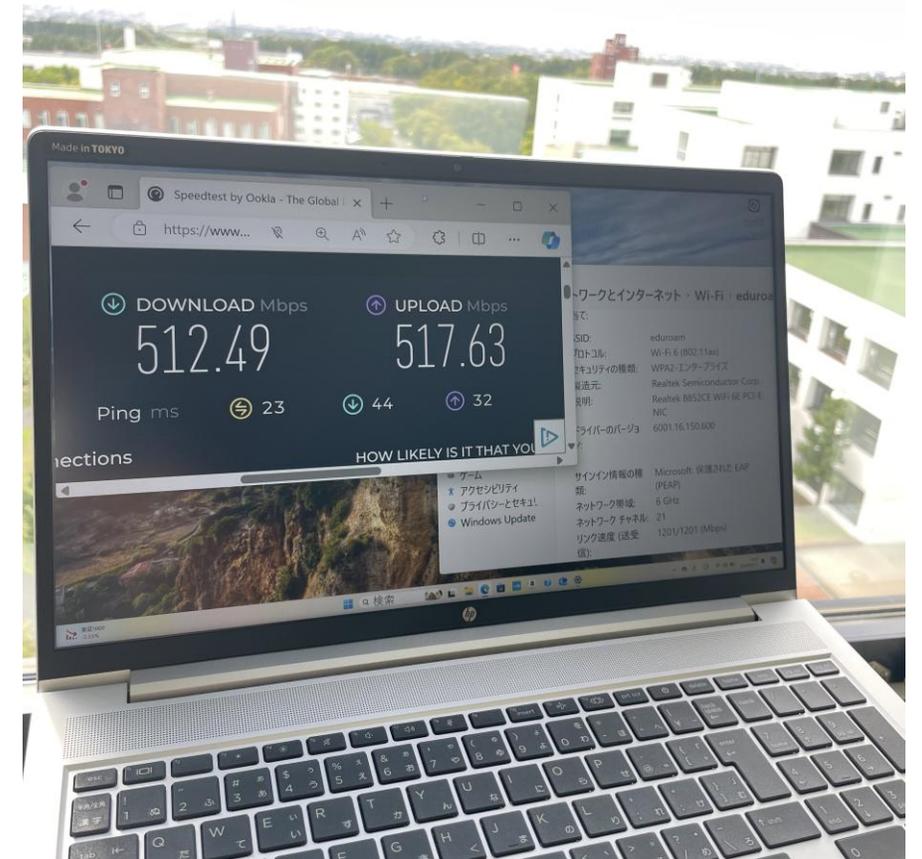
- 自機関の利用者が他機関のeduroam基地局に接続可能であること
 - 他機関のeduroam利用者が自機関のeduroam基地局に接続可能なこと
- ⇒ 共に重要

本報告での検証

札幌学院大学キャンパスにて運用中のeduroamとOpenRoamingにおいて一部エリアを試験的に Wi-Fi 6E / Wi-Fi 7化してみた

- 6GHz帯でのWPA3 Enterpriseによる接続をサポートしている最新端末
- 2.4/5GHz帯においてWPA3 Enterpriseをサポートしない古い端末

⇒ 同一基地局エリアでどちらも問題なく利用できるように構築できるか



WPA2 EnterpriseとWPA3 Enterpriseの違い

WPA3 Enterpriseにおける従来のWPA2 Enterpriseとの違い
保護された管理フレーム

(IEEE 802.11w Protected Management Frames, **PMF**)

WPA2 EnterpriseにおいてPMFのサポートは 任意

WPA3 EnterpriseにおいてPMFのサポートは **必須**

PMFを使用するWPA2 Enterprise
= WPA3 Enterprise とも言える

WPA3のモード

WPA3 Only mode

WPA3非対応の端末を接続させず，WPA3対応の端末のみを接続させる

WPA3 Transition mode **本検証**

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

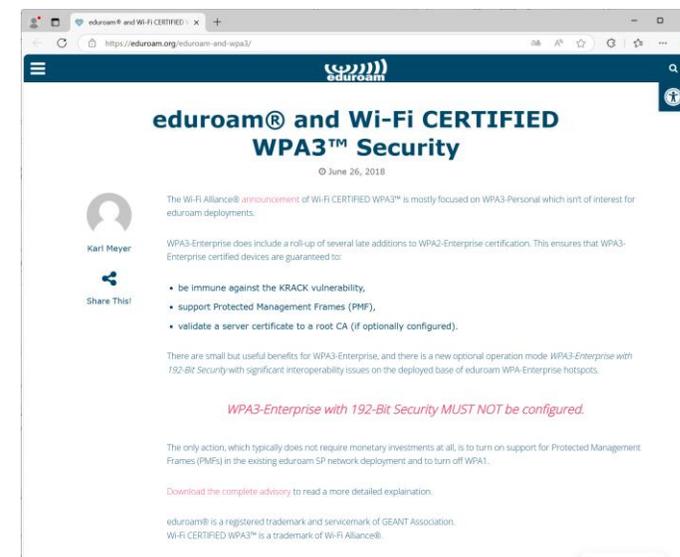
WPA3 192-bit mode

CNSAで定められた暗号スイートに対応した端末でしか接続できない
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年のアドバイザリでは，
eduroamにおいては接続の互換性の観点から強く非推奨

“WPA3-Enterprise with 192-Bit Security MUST NOT be configured.”

<https://eduroam.org/eduroam-deployment-considerations-on-wi-fi-certified-6e/>



サービス提供における選択肢

- A) 2.4/5/6GHz帯のSSIDを同一としてWPA3 Only modeを使用
 - ⇒ 理想的には望ましいが、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できるか
- B) 2.4/5GHz帯のSSIDはWPA2とし、6GHz帯は別のSSIDでサービス提供
 - ⇒ 周知の手間、利便性の低下
- C) 2.4/5GHz帯においてはWPA2 Enterpriseを、6GHz帯ではWPA3 Enterpriseを設定し、SSIDは同一にする
 - ⇒ 多くの基地局では設定できない
 - ⇒ 一時的な切断も許容できない用途では問題
- D) **2.4/5/6GHz帯のSSIDを同一とし、WPA3 Enterprise Transition Modeを使用する** 本検証
 - ⇒ 6GHz帯をサポートする全ての端末はWPA3 Enterpriseもサポートするため2.4/5/6GHz帯全て接続可能
 - ⇒ 6GHz帯をサポートしていないがWPA3 Enterpriseをサポートする端末は2.4/5GHz帯で接続可能
 - ⇒ WPA3 Enterpriseをサポートしていない端末は2.4/5GHz帯でWPA2 Enterpriseで接続可能

→ **ただしWPA3 Enterprise Transition Modeをサポートする基地局は限られる**
(2024/10時点では Juniper Mist, Aruba (ArubaOS8.11以降) , Extreme Networks (XIQ-C centralized-mode))

WPA3をサポートしない端末

2018年（WPA3の公開）より後に発売され最新規格へのアップデートに対応した端末

Appleデバイス

WPA3サポート
PMFサポート

iPhone 7以降、iPad第5世代以降、Mac（Late 2013以降）など
iPhone 6以降、iPad Air 2以降、Mac（Late 2013以降）など

Android

WPA 3 サポート

Android 10（2019年）

Windows OS

WPA3サポート

Windows 10

試験環境（SSIDは全て eduroam）

WPA3 Enterprise Transition Mode (2.4/5/6GHz帯)

江別キャンパスG館6階～8階

比較的隔離された上層階にあり、試験に適している
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
各フロアに3台ずつ計9基のWi-Fi 6E基地局を設置
(Extreme AP5010 / ExtremeCloud IQ Controller に収容)

江別キャンパスC館1階

電子計算機センターWi-Fi 6E基地局

(Aruba AP-655 / Aruba Controller (ArubaOS 8.12))

WPA2 Enterprise + **PMF使用可能** (optional) (2.4/5GHz帯)

江別キャンパス・新札幌キャンパス 試験環境外の全域

Aruba AP / Arubaコントローラ ArubaOS 8.10および8.12
(Extreme AP / VX9000コントローラ)

<比較検証用：学外に構築>

WPA2 Enterprise + **PMF無効** (disabled) (2.4/5GHz帯)

(Aruba)

<比較検証用2：学外に構築>

WPA3 Only (**PMF必須**) (2.4/5/6GHz帯)

(Cisco Meraki)

6GHz帯をサポートする端末の接続検証1 (SSIDは全て eduroam)

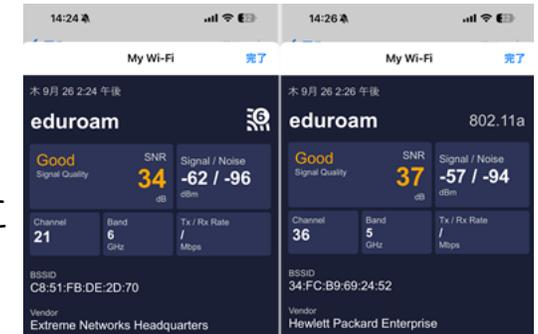
WPA3 Enterprise Transition Mode
(2.4/5/6GHz帯)

WPA2 Enterprise + **PMF使用可能** (optional)
(2.4/5GHz帯)

iPhone 15 Pro Max (iOS 18.0)



相互に問題ない
6GHz帯がある場合は
6GHz帯を優先するように
見受けられる



WPA2 Enterprise + **PMF無効** (disabled)
(2.4/5GHz帯)

WPA3 Only (**PMF必須**)
(2.4/5/6GHz帯)

6GHz帯をサポートする端末の接続検証2-1 (SSIDは全て eduroam)



Fujitsu LIFEBOOK U7313/N
(Windows 11 Pro 23H2, Intel AX211 23.20.04)

手動接続の場合、**初回接続をどの環境で行ったかによって端末に保存されるプロファイルが違い、結果として挙動が異なる**

WPA3 Enterprise Transition Mode
(2.4/5/6GHz帯)

WPA2 Enterprise + **PMF使用可能** (optional)
(2.4/5GHz帯)

WPA3 Only (**PMF必須**)
(2.4/5/6GHz帯)

プロファイル内のauthentication
WPA3ENT (WPA3が必須であるという意味)

```
<security>  
  <authEncryption>  
    <authentication>WPA3ENT</authentication>  
    <encryption>AES</encryption>  
    <useOneX>true</useOneX>  
  </authEncryption>
```

WPA2 Enterprise + **PMF無効** (disabled)
(2.4/5GHz帯)

プロファイル内のauthentication
WPA2 (WPA2/WPA3両方含むという意味)

```
<security>  
  <authEncryption>  
    <authentication>WPA2</authentication>  
    <encryption>AES</encryption>  
    <useOneX>true</useOneX>  
  </authEncryption>
```

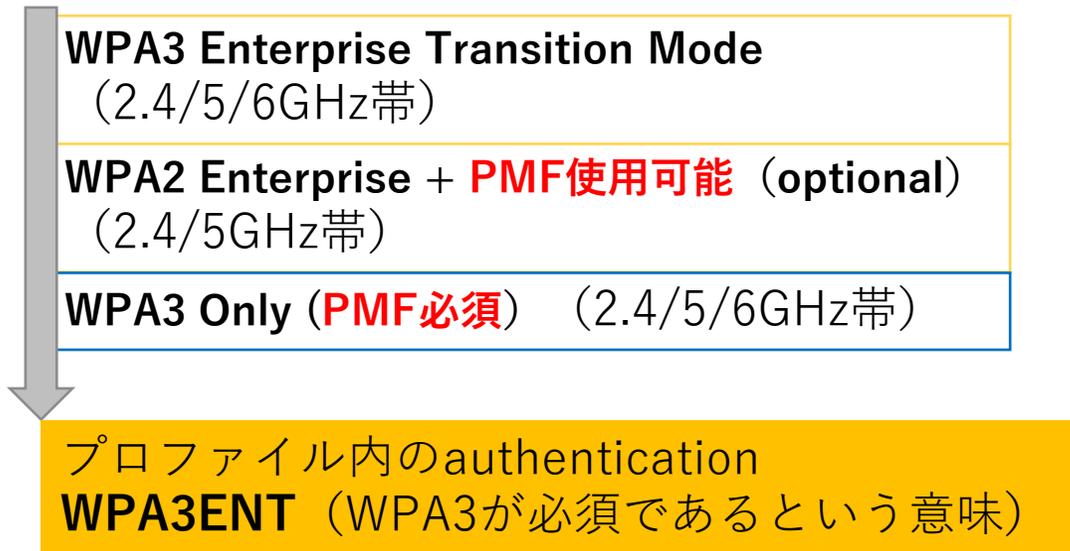
6GHz帯をサポートする端末の接続検証2-2 (SSIDは全て eduroam)



Fujitsu LIFEBOOK U7313/N
(Windows 11 Pro 23H2, Intel AX211 23.20.04)

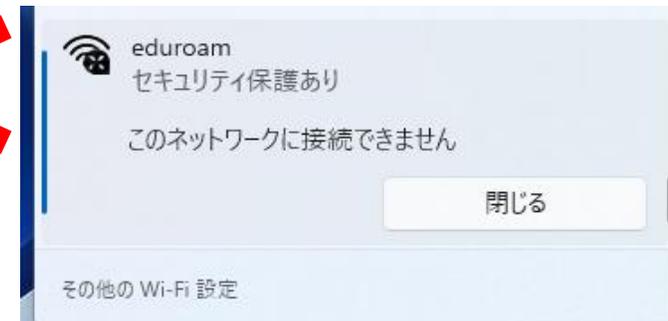
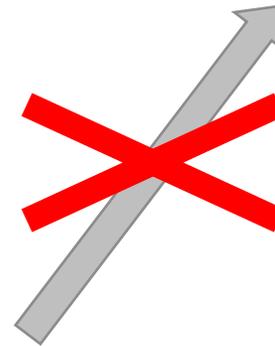
初回接続でWPA3ENTのプロファイルとなった端末は、WPA2 Enterprise + PMF無効の基地局に接続できない

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



```
<security>  
  <authEncryption>  
    <authentication>WPA3ENT</authentication>  
    <encryption>AES</encryption>  
    <useOneX>true</useOneX>  
  </authEncryption>
```

WPA2 Enterprise + **PMF無効** (disabled)
(2.4/5GHz帯)



Wi-Fiアイコンの右下に表示される鍵のマークが通常と異なる状態

6GHz帯をサポートする端末の接続検証2-3（SSIDは全て eduroam）

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（=6GHz帯など）を運用するにあたっては、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。

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。

6GHz帯をサポートする端末の接続検証3 (SSIDは全て eduroam)



Fujitsu LIFEBOOK U7313/N
(Windows 11 Pro 23H2, Intel AX211 23.20.04)
HP ProBook 410 G10 (Windows11, Realtek 8852CE)

初回接続でWPA2のプロファイルとなった端末は、6GHz帯含め接続可能

WPA2 Enterprise + **PMF無効** (disabled)
(2.4/5GHz帯)

WPA3 Enterprise Transition Mode
(6GHz帯)

WPA3 Only (**PMF必須**) (6GHz帯)

プロファイル内のauthentication
WPA2 (WPA2/WPA3両方含むという意味)

```
<security>  
  <authEncryption>  
    <authentication>WPA2</authentication>  
    <encryption>AES</encryption>  
    <useOneX>true</useOneX>  
  </authEncryption>
```

“WPA2-エンタープライズ”として接続される

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

geteduroamアプリ等での初回接続は、基地局側の設定状況を問わず WPA2

6GHz帯をサポートしない端末の接続検証 (SSIDは全て eduroam)



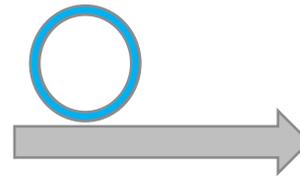
ASUS ExpertBook B9450FA
(Windows 11 Pro 23H2, Intel AX201 23.20.04)

プロフィール上の設定は常にWPA2となった

WPA3 Enterprise Transition Mode
(2.4/5/6GHz帯)

プロフィール内のauthentication
WPA2 (WPA2/WPA3両方含むという意味)

```
<security>  
  <authEncryption>  
    <authentication>WPA2</authentication>  
    <encryption>AES</encryption>  
    <useOneX>true</useOneX>  
  </authEncryption>
```



WPA2 Enterprise + PMF使用可能 (optional)
(2.4/5GHz帯)

WPA2 Enterprise + PMF無効 (disabled)
(2.4/5GHz帯)

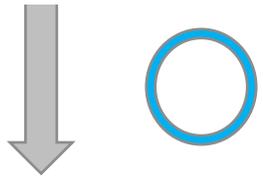
WPA3 Only (PMF必須) (2.4/5/6GHz帯)

2.4/5GHz帯での接続は問題ない

6GHz帯もWPA3もサポートしない端末の接続検証 (SSIDは全て eduroam)



Apple iPad mini (第1世代) / iOS 9.3.5 (2016年8月26日公開)



WPA3 Enterprise Transition Mode
(2.4/5/6GHz帯)

WPA2 Enterpriseで2.4/5GHz帯に接続可能

自機関でWPA3 Enterprise Transition Modeで
eduroamを運用する場合

WPA3非対応端末のWPA2 Enterpriseでの利用は
2024年現在にまだ使われている可能性がある端末に
おいては概ね問題ない

OpenRoaming環境におけるそれぞれの端末の接続

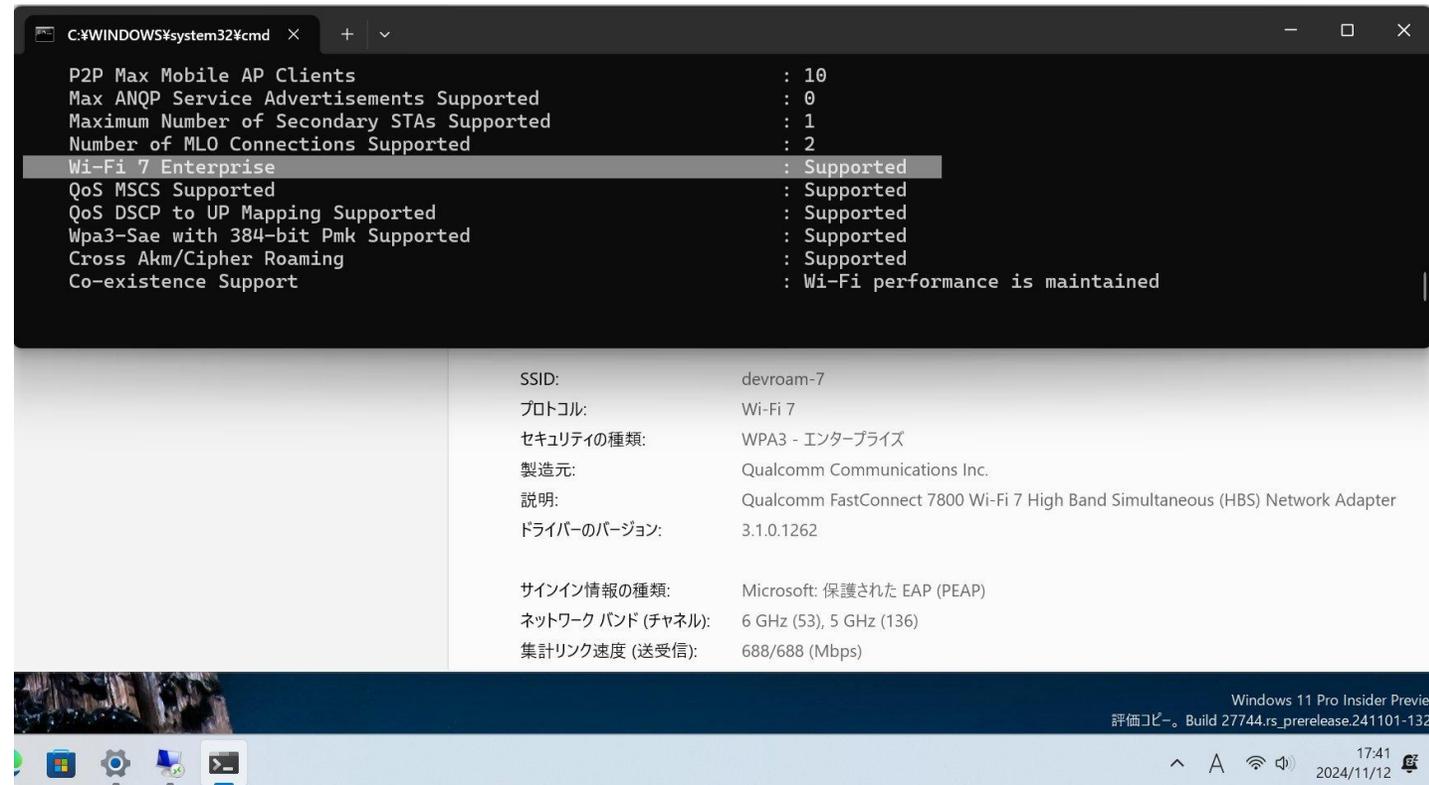
Wi-Fi 6Eまでの環境であれば問題ない

(現状Windows向けにOpenRoamingで発行されているプロファイルはWPA2で設定されている)

Wi-Fi 7におけるOpenRoamingは検証中

Wi-Fi 7 (特にMLO) + eduroam

Wi-Fi 7 Enterprise 検証中



The screenshot displays a Windows 11 Pro Insider Preview desktop environment. A Command Prompt window is open, showing the following output:

```
C:\WINDOWS\system32\cmd
P2P Max Mobile AP Clients : 10
Max ANQP Service Advertisements Supported : 0
Maximum Number of Secondary STAs Supported : 1
Number of MLO Connections Supported : 2
Wi-Fi 7 Enterprise : Supported
QoS MSCS Supported : Supported
QoS DSCP to UP Mapping Supported : Supported
Wpa3-Sae with 384-bit Pmk Supported : Supported
Cross Akm/Cipher Roaming : Supported
Co-existence Support : Wi-Fi performance is maintained
```

Below the command prompt, the network settings for the 'devroam-7' SSID are shown:

SSID:	devroam-7
プロトコル:	Wi-Fi 7
セキュリティの種類:	WPA3 - エンタープライズ
製造元:	Qualcomm Communications Inc.
説明:	Qualcomm FastConnect 7800 Wi-Fi 7 High Band Simultaneous (HBS) Network Adapter
ドライバーのバージョン:	3.1.0.1262
サインイン情報の種類:	Microsoft: 保護された EAP (PEAP)
ネットワーク バンド (チャネル):	6 GHz (53), 5 GHz (136)
集計リンク速度 (送受信):	688/688 (Mbps)

The taskbar at the bottom shows the Windows 11 taskbar with the Start button, task view, and system tray. The system tray includes the time (17:41) and date (2024/11/12). The Windows version is Windows 11 Pro Insider Preview, Build 27744.rs_prerelease.241101-1329.

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・学外者の接続は問題ないと言える

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（他機関の）eduroam基地局に接続できない場合が発生するため、その運用には広報などの注意が必要

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ことをおすすめ**したい

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ました。