

# 静岡大学におけるWiFi運用史

## ～動作状況分析による無線LAN品質改善の取組み～

---

**山崎 國弘**

国立大学法人 静岡大学 情報基盤センター

# 本日の内容

1. 静岡大学の無線LANシステム紹介
2. 今日のまとめ
3. 初期の問題
4. 最近の問題
5. 大学無線LANの考察



# 静岡大学の 無線LANシス テム紹介

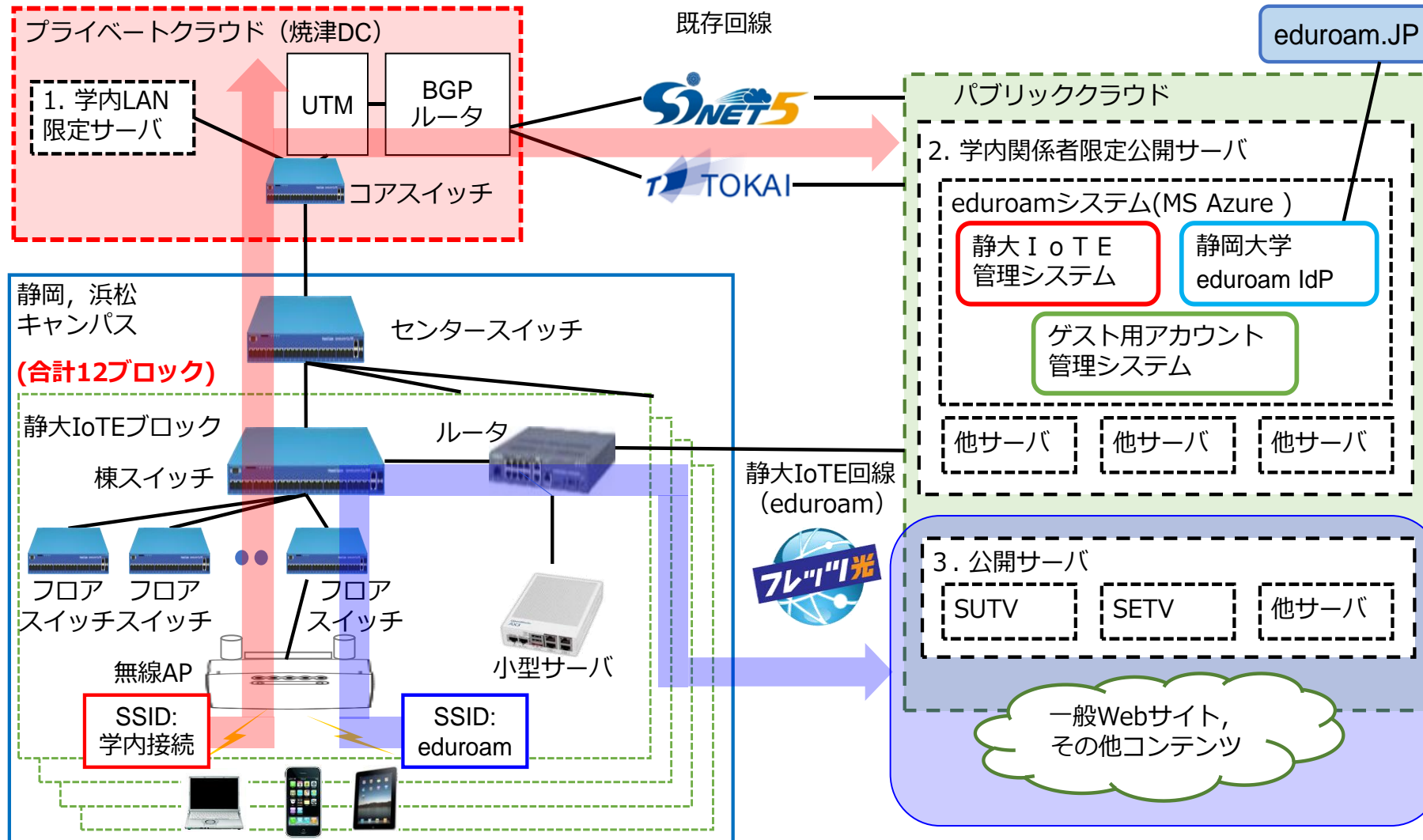
# 静岡大学の無線LAN構成(現状)

1. 教職員・学生は静大IDで無線LANを利用できる
  - 利用開始手続き不要, 接続端末の制限なし(機種, 台数)
2. 「学内接続」と「eduroam」の2つのネットワーク(SSID)がキャンパス内の全APで利用できる

SSID	内容
学内接続	<ul style="list-style-type: none"><li>• 学内のサーバ, システム, プリンタ等にアクセスできる</li><li>• SINETでインターネット接続</li></ul>
eduroam	<ul style="list-style-type: none"><li>• インターネット接続のみ</li><li>• 学部単位で商用光回線を使用しインターネット接続</li><li>• 教職員はゲスト用ID申請システムで任意にゲスト用IDを発行し来校者に提供できる</li></ul>



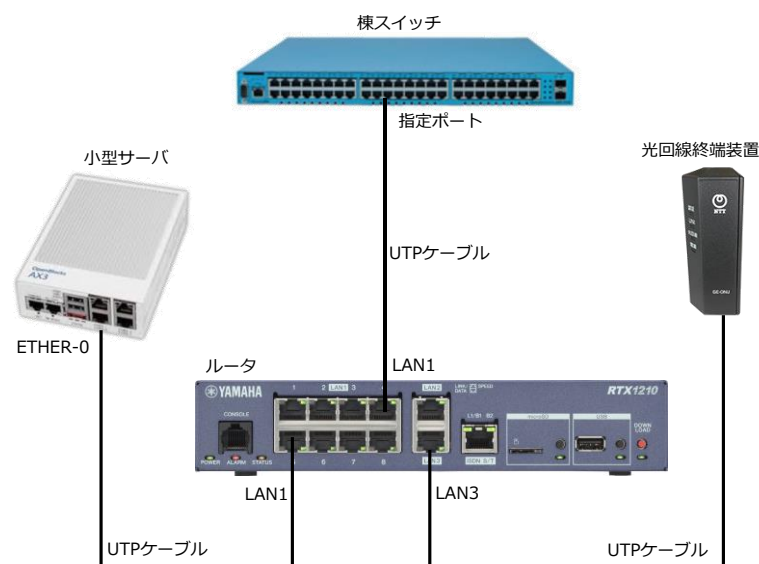
# 無線LANシステム構成



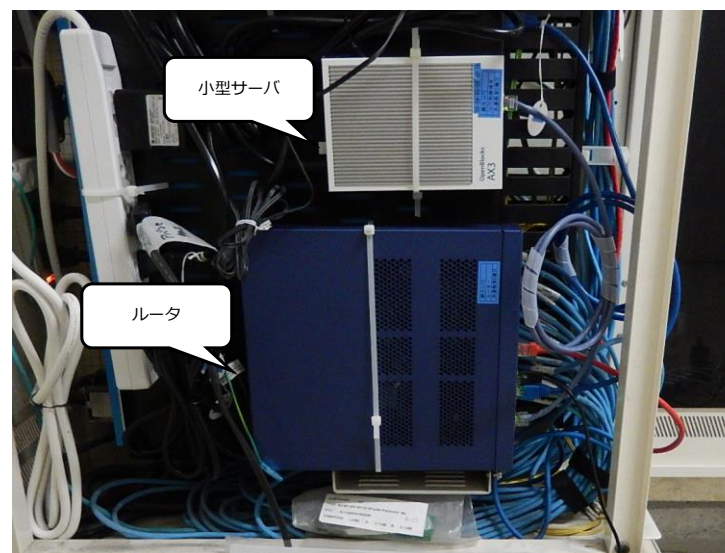
永田正樹, 他, "パブリッククラウドとオープンソースソフトウェアを用いたトラフィック分散型eduroam基盤「静大 IoT E」の構築", 学術情報処理研究, 22巻, 1号, pp.12-22, 2018

# 認証とIPアドレス管理

SSID	内容
学内接続用	基幹サーバ層にある認証サーバで認証し、DHCPサーバでIPアドレス管理 キャンパス毎に2台設置
eduroam	学部単位にインターネット接続用の小型ルータとDHCP機能およびログ管理、死活監視を実施する小型サーバを設置 ブロック毎に12台設置



eduroam機器構成



eduroam設置例

廊下のスイッチボックス内に小型サーバ、ルータ、光回線終端装置を設置している

# eduroam利用のお知らせ

## eduroamの効果的な運用にご協力ください

帯域種類

(単位: bps)

100M

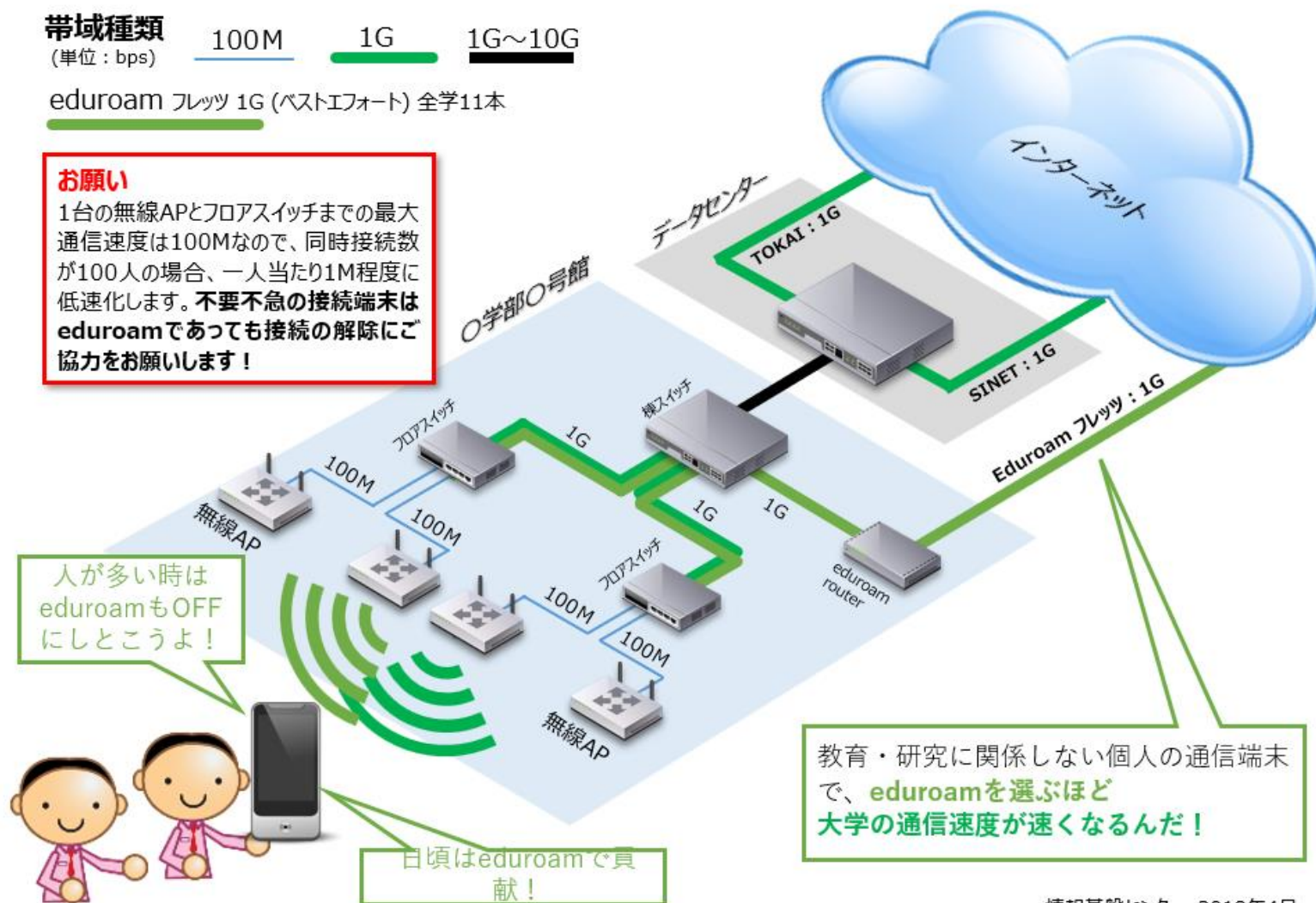
1G

1G~10G

eduroam フレッツ 1G (ベストエフォート) 全学11本

### お願い

1台の無線APとフロアスイッチまでの最大通信速度は100Mなので、同時接続数が100人の場合、一人当たり1M程度に低速化します。不要不急の接続端末はeduroamであっても接続の解除にご協力をお願いします！



情報基盤センター 2018年4月

## 2018年4月の情報基盤センターからのお知らせ

### 日常的にeduroamの利用を推奨

- ・学内ネットワークの混雑低減
- ・基幹サーバ層のトラブル時のインターネットアクセスの維持

# ゲスト用無線LAN

## 教職員が申請サイトでeduroamを利用できるゲスト用アカウントを簡単に発行できる

- 発行直後から最大半年間利用できる。
- 学会・イベントの対応
  - ゲストアカウントは1回の申請で最大300アカウント発行でき、CSVファイルでダウンロードできる。
  - 申請回数の制限はなく、1000以上のゲストアカウント発行にも対応

📶 静大eduroamゲスト用アカウント発行システム

📄 新規申請    📋 申請一覧    📖 利用規約

ゲスト用アカウント 新規申請

静大ID \*

ns479176

氏名 \*

所属組織 \*

「部局名」などを入力してください

職種 \*

「教員」や「職員」などの職種を入力してください

利用目的 \*

メールアドレス \*

@shizuoka.ac.jp

メールアドレスは半角で入力してください  
メールアドレスもしくは電話番号のどちらか一方が必須です

電話番号 \*

電話番号は - (ハイフン) をつけて、半角で入力してください  
メールアドレスもしくは電話番号のどちらか一方が必須です

発行アカウント数 \*

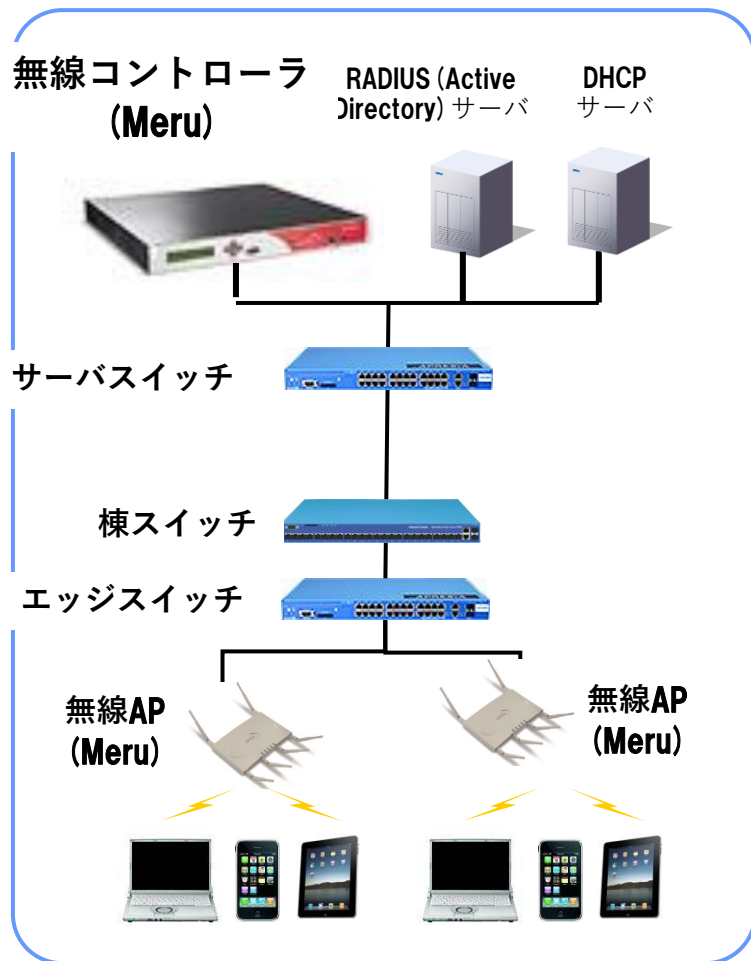


# 無線LAN整備の歴史

年度	方式	項目	備考
2010年	WiFi4	全学無線LAN設置	Meru コントローラ方式 50AP
2014年	WiFi4	管理サーバタイプ無線LAN導入	フルノシステムズ 70AP 4年ほど2つの製品を並行運用
2018年	WiFi4 WiFi5	Meru廃止→フルノシステムズAPに更改 APの増設, eduroam導入	eduroamを使用したゲスト用 無線LAN開始
2018年		災害用フリーWiFi「00000JAPAN」の導入	避難訓練で運用
2021年	WiFi4～ WiFi6	教室のAPを試行的にWiFi6対応に更改(AP数は少ない)	無線LAN混雑状況表示システムの試行運用開始
2022年		「情報基盤整備」入札の「不落」で無線LANシステムの更改見送り	
2024年		老朽化の著しいAPのWiFi6対応APへの更改 (まだ一部のAP)	

# コントローラから管理サーバ方式へ

## 最初は無線コントローラ方式の MeruでAP50台設置



## コントローラ方式の課題

- ・ AP増設にはコントローラの更改が必要で費用大
- ・ コントローラの維持コストが大きい(ライセンス費用, ハードウェア保守費, OSバージョンアップ費用)
- ・ コントローラ障害時に全てのAPが使用できなくなる
- ・ コントローラがトラヒックのボトルネックとなり, 全体の通信容量拡大に費用がかかる

## TCOが低い管理サーバ 方式の製品を導入

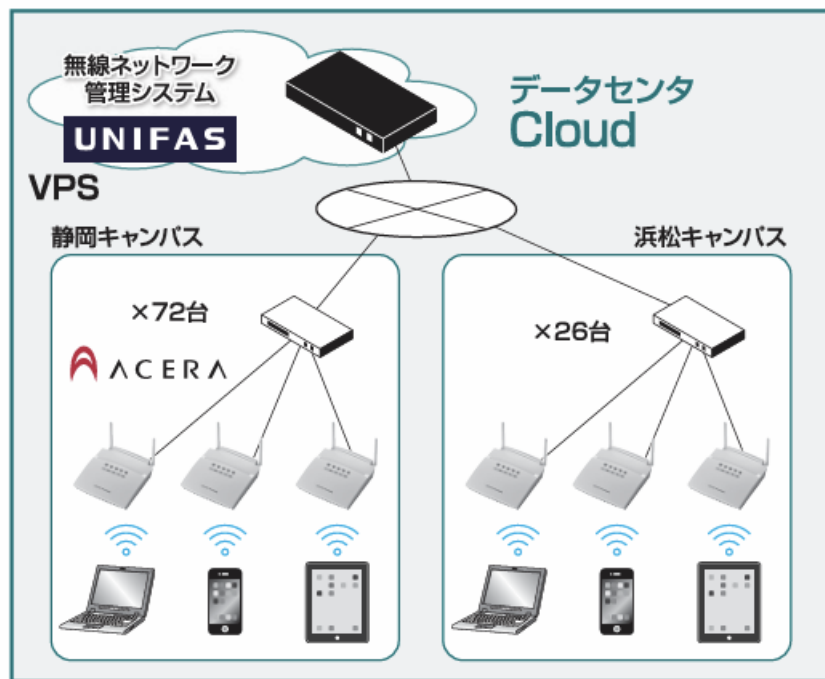
フルノシステムズ  
管理サーバ: UNIFAS  
AP: ACERA

**UNIFASのライセンス費用  
が安価でAP増設で, 費用  
が増加しない**



# クラウド無線LAN管理サーバ

## 「クラウド無線LAN」



フルノシステムズ事例紹介より抜粋

フルノシステムズ製品  
で静岡大学が初めて

- ・ 自己責任で実施



クラウド化で、AP数  
増加対応のサーバ性  
能向上、OSのEOL対  
応も簡単・トラブル  
なく完了

今では主力商品

IT部門の負担軽減！



「高品質Wi-Fi」の  
“メリットだけ”をフルに活用！

無線ネットワーク管理システム




# 現在の無線LANの利用状況

項目	最大値
1日の接続端末数(MACアドレス数)	15,876 端末/日
同時接続数	5,180 端末
1日のイベント数	135 万件/日
1分間のイベント数	7,315 件/分
1分間の認証数	1,222 回/分
1日の拒否応答回数	16,829 回/日
端末の1日の承認応答回数	797 回/日・端末
1APの最大同時接続数	212 端末
50端末以上が接続しているAP数	119 AP
100端末以上が接続しているAP数	32 AP

- 集計期間:2024年4月～年6月
- 項目別の最大値
- 同時接続数は無線LAN管理サーバのAPIを使用し、10分間隔で取得
- 上記以外は無線管理サーバの認証ログを集計





# 今日のまとめ

# 大学無線LANの特長

## ① 端末数(利用者)が多い

複数端末を接続する利用者が増加傾向

## ② 認証要求, DHCP要求が集中的に発生

授業毎に教室を移動し授業前後にローミングが大量に発生する

## ③ 授業により無線LANの使い方が大きく変わる

教材ダウンロード, web会議, 動画再生, webサイトアクセス

## ④ 端末デバイスが多様

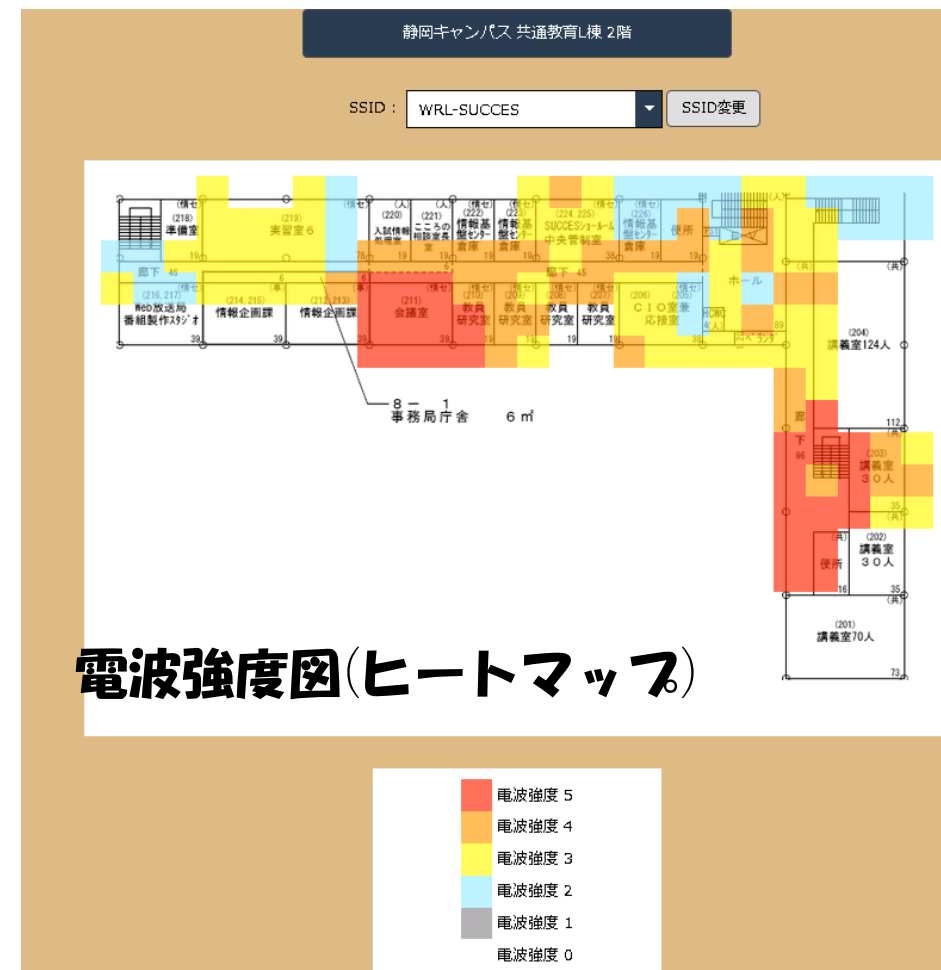
パソコンは最新OSから1・2世代前が混在  
パソコンが主体だが, スマホ, タブレットや研究用デバイスも接続される

# 無線LAN導入当初の方針

## 導入当初の方針

- (1) 少ない無線 AP を有効利用するよう可能な限り広範囲をカバーする
- (2) 無線 AP 故障時に無線 LAN 利用が継続できるように無線AP のカバー範囲の重複を許容する
- (3) SSIDは2.4GHz, 5GHz共通とし、利用者が意図的に選択しなくても端末機能で5GHzの利用が拡大することを期待する

## 絶滅危惧種



# 昔の無線LAN構築は難しかった

無線LANシステムの導入時，規模拡大時には上位ネットワーク，サーバ設計に関する知見・技術力が必要で無線LANが得意なベンダーだけでシステム構築は難しい

## 【上位ネットワーク設計】

- ・ VLAN(ブロードキャストドメインの大きさ，ルーティング)
- ・ PoEスイッチの電力容量
- ・ LAN配線
- ・ IPアドレス体系

## 【サーバ設計】

- ・ 認証システム      Radius/LDAP/AD  
    認証方式(802.1X)，処理性能とログ保存容量
- ・ DHCP  
    DHCPドメインの大きさ，IPアドレス体系  
    リース期間，処理性能とログ保存容量

## 【無線APの設計】

- ・ APの置局計画，カバー範囲調整(送信出力設定)
- ・ チャンネル設計(チャンネルボンディング，電波干渉対策)
- ・ SSID，認証方式，暗号方式
- ・ 通信速度改善，接続安定性(パケット集約，ビーコン等通信速度)

# 現在の方針

## 現在の方針

(1) 端末が教室内(最寄り)の無線APに5GHzで安定した接続ができる環境を実現する

**カバー範囲を小さくする(教室内の端末が接続する)**

(2) APに多数の端末が接続されたときに、できるだけ大きなスループットを得られるようにする

**強い電波強度(RSSI)で接続する**

## 新サービス

### 無線LAN混雑状況表示システム

HAP-L1101	工学部5号館 2階 217(A22教室)	25 台	
HAP-L1102	工学部5号館 2階 218(A23教室)	7 台	
HAP-L1103	工学部5号館 2階 21教室-1	0 台	
HAP-L1104	工学部5号館 2階 21教室-2	5 台	
HAP-L1201	工学部5号館 2階 24教室-1	26 台	
HAP-L1202	工学部5号館 2階 24教室-2	90 台	
HAP-L1301	工学部5号館 3階 317(情報交流会議室)	1 台	
HAP-L1302	工学部5号館 3階 GWS室	0 台	
HAP-L0401	工学部5号館 3階 331(A31教室-1)	42 台	
HAP-L0402	工学部5号館 3階 331(A31教室-2)	45 台	
HAP-L1601	工学部5号館 4階 輪講室 (MOT講義)	4 台	

- 無線LAN管理サーバのAPIにて10分間隔で接続端末数を集計
- 混雑状況を5段階でアイコン表示



# 最近の無線LANは簡単になった？

- 既存無線LANシステムのリプレイス
- 既存無線LANの利用状況から，性能要件を把握可能

## □ 基本は既設APの更改(新機種への交換)

- 電波調査，現地調査が必要ない．AP交換の作業量が少ない

## □ 無線LANが得意なベンダによる構築が可能

- 認証システム，DHCP及び上位ネットワークが継続利用できる
- 既存無線LANの利用状況から認証システム，DHCPの増強要否を判断

## □ AP機能の向上

- 自動調整機能の充実，WiFi6による多数端末性能の向上
- 無線LAN利用状況の分析機能の充実

# 無線LAN運用でわかったこと(1/4)

## APがベストエフォートで動作しているかわからない

- 無線AP設置時に授業中と同様の状態で確認試験ができない
- 稠密環境, 多様な端末デバイスの利用(BYOD), 端末数の増加(複数端末利用), 利用方法の変化(webアプリ, 動画再生, web会議)などでAPの動作環境は複雑になっている
- **機器故障や工事ミスが無くても, 周囲環境や接続端末数の増加で無線LANの品質低下が発生する**
- 接続端末数が少ないのは, 利用者が少ないのではなくAP設定の問題かもしれない

# 無線LAN運用でわかったこと(2/4)

## AP設定はシンプルに

- ◆ ベンダは端末制御する新機能を使ったがるが，効果を得るのは意外と難しい
  - バンドステアリング機能 ⇒ 5GHz専用化
  - RSSI(受信電波強度)の小さい端末の切断機能 ⇒ カバー範囲を小さくする(電波の送信出力を低くする)
- ◆ ベンダは大学の無線LAN構築に十分な知見を持っているとは限らない
  - 利用特性，負荷の増減等を考慮した提案は期待しないほうがいい
  - 十分な根拠で説明しないとベンダに理解してもらうのは難しい



# 無線LAN運用でわかったこと(3/4)

## AP置局計画の課題

- ❑ 25端末/APで教室無線LANを整備するのが理想だが、端末数の決定が困難
  - 端末数は授業により大きく変化し、授業内容によりトラフィックが極端に変化する
  - **ピークに合わせた設計では予算確保は不可能。投資効果の観点は重要**
- ❑ 教室内に複数APを接すると端末の接続が不安定になるリスクがある

# 無線LAN運用でわかったこと(4/4)

## 故障対応から品質改善へ

- 製品故障は減っているが、利用増加に伴い無線LANの品質低下は増加している
- 無線LANの品質低下があっても製品メーカー及び構築ベンダは、明確な故障又は工事ミスでなければ対応しない
- 利用者の苦情申告があっても無線LANの品質低下の確認は手間がかかる。原因調査と改善はさらに困難。
- 利用環境変化を把握し、無線LANが品質低下したら調整するのが現実的

# 初期の問題

# 認証サーバ, DHCPサーバのリソース不足

## 【発生した事象】

### 端末の無線LAN接続が不安定

端末とAPの接続・切断の繰返し及びIPアドレス取得に失敗して他のAPに接続替えが頻発している

無線LANシステムの動作不良・不具合として調査

## 【原因】

端末のAPへの接続要求が短時間に集中するとエラー率が高くなり, 更に端末はAPへの接続要求を繰返すため, 状況は急激に悪化する.

認証サーバ, DHCPサーバの詳細な調査で原因を確認できたが, 無線LAN構築・保守ベンダだけでは解決できなかった可能性が高い

# DHCP リース期間の誤設定

**DHCPサーバの配布可能なIPアドレスが不足したため、リース期間を10分間と極端に短縮したため、リース更新処理回数が急増しDHCPサーバが過負荷となりIPアドレスの更新ができなかった端末が切断した（5分程度で切断）**

	対策前（リース期間10分）	対策後（リース期間12時間）	
サンプルデータ	7月8日（水）	7月15日（水）	
1日のユニーク端末数	4, 120台	4, 361台	対策後の方が5. 8%多い
DHCPサーバの総処理数	593,023回	172,837回	420,186回減少（70.9%の減少）
IPアドレス総割当て回数	13,223回	10,034回	3,189回減少
端末当たりのIPアドレス割り当て数	3. 21回／端末	2. 30回／端末	0. 91回／端末

2015年7月の調査報告より抜粋

# チャンネルボンディングとチャンネル設定の不適合

バンド	チャネル	気象レーダ対応
W52	36 40	不要
	44 48	
W53	52 56	DFS対応が必要
	60 64	
W56	100 104	DFS対応が必要
	108 112	
	116 120	

バンド	チャネル	気象レーダ対応
W56	124 128	DFS対応が必要
	132 136	
	140 144	

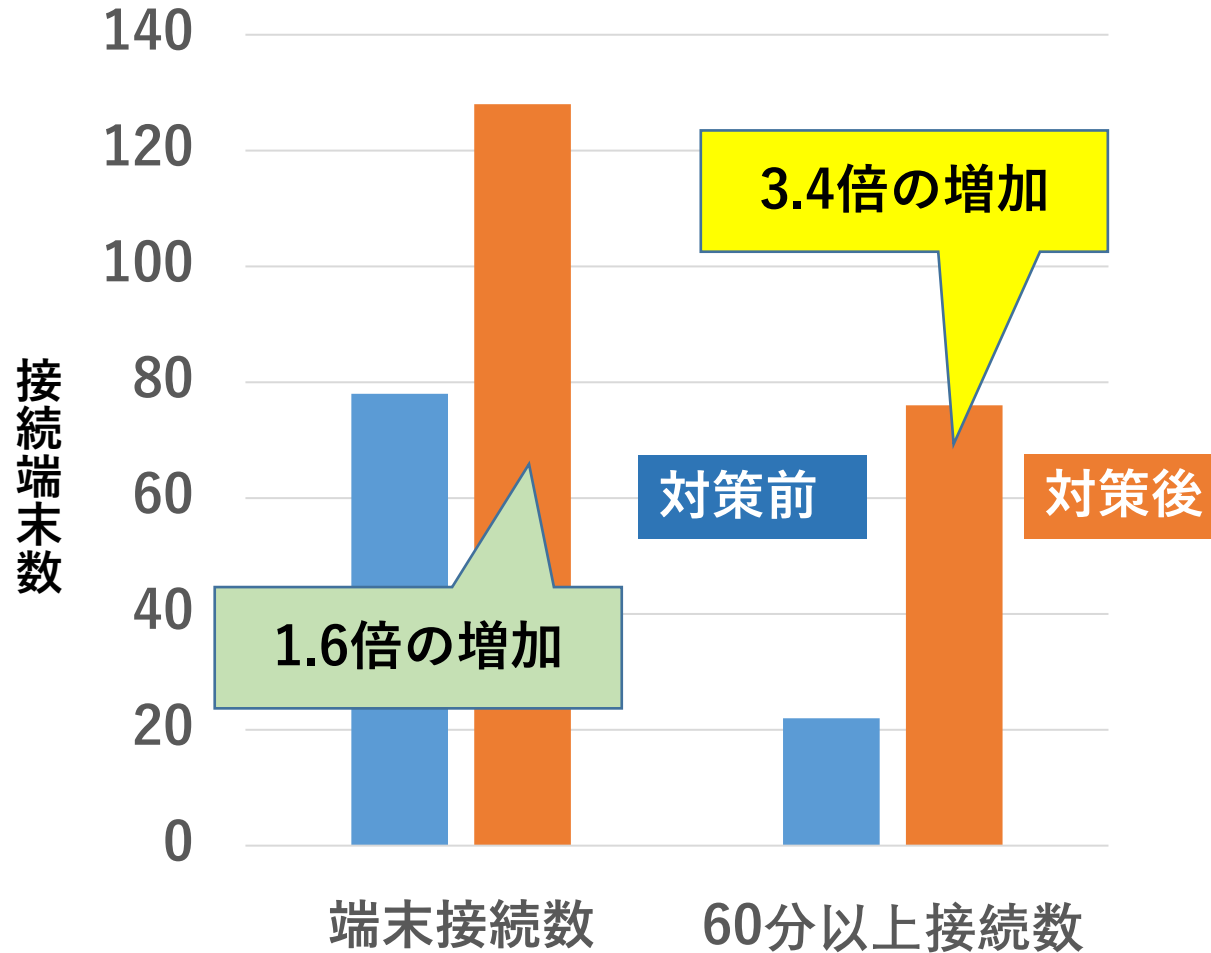
通信速度向上のため40MHzチャンネルボンディングを使用しているが、APチャンネル設定が不適切なため近隣AP同士の電波干渉が発生していた

【チャンネルボンディング】  
IEEE802.11n から複数チャネルを束ね通信速度を向上することができるようになった。帯域を広げると電波干渉リスクが増加するため稠密環境下では40MHzが推奨されている。

隣接チャネルを束ねるため、36、44、52とチャンネル設定を行う

# 電波干渉の影響と改善効果

## 端末接続数(平均値)の変化



- ・ 上下の教室で同一チャネルが設定され、両教室で接続端末数が増えると電波干渉で接続が不安定になる事象が確認された

- ・ 教室は2台のAPが設置されており、グラフは2APの合計を示している

- ・ 下階のチャネル変更を行い、その効果を確認した

- ・ 対策後(チャネル変更)は、90分授業のうち60分以上同一APへの接続を継続している端末が大きく増加し対策の効果が確認できた

# 他APに接続して確認試験を行った

APのカバー範囲が広く接続可能なAPが複数存在する稠密環境では、試験端末が直近にある試験対象のAPではなく周辺APに接続されることがある。

試験対象の新設APに設定間違いがあっても、周辺APに接続した状態で試験完了と誤認する事象があった

正解

本当は、端末が直近のAPに接続できないことが問題

ボタンの掛違い

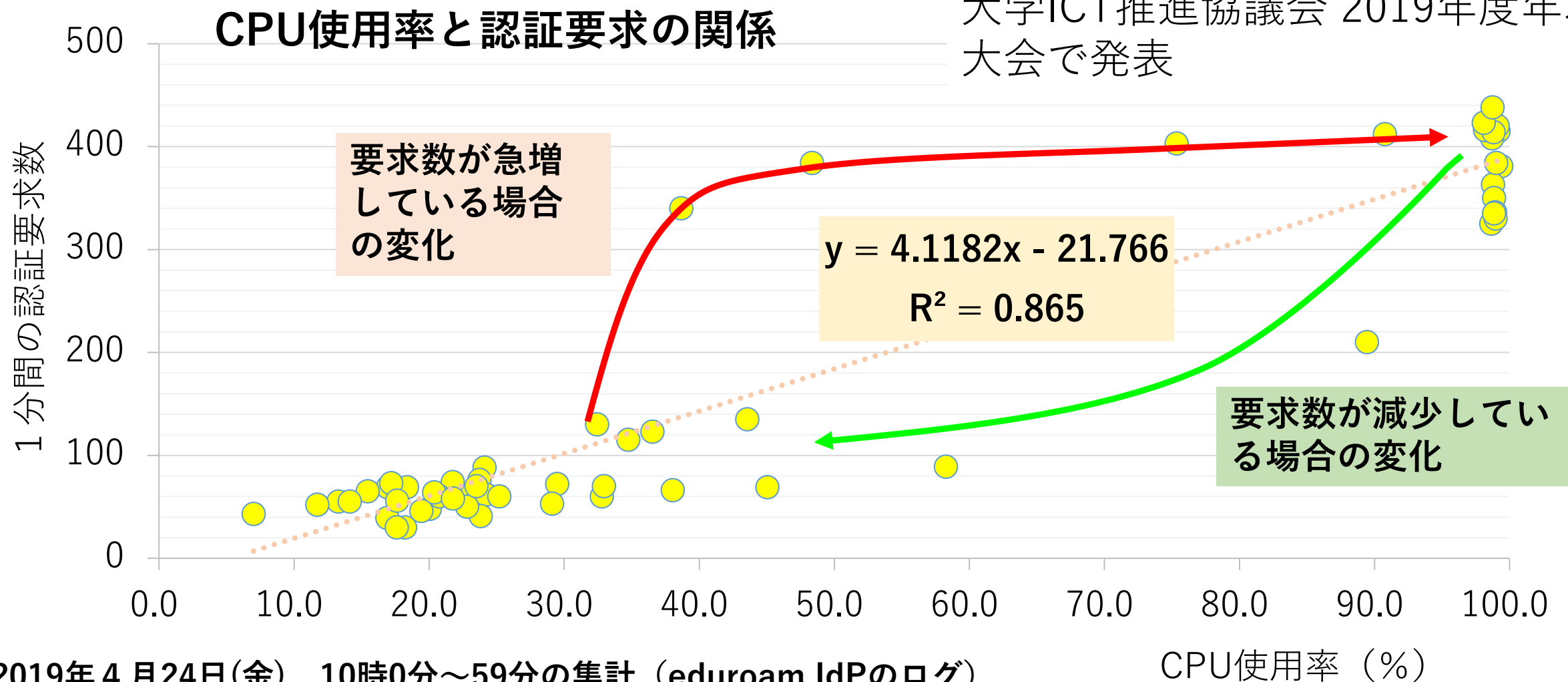
無線LANの工事ベンダさんがAP増設時に、複雑な手順で試験対象のAPと接続して工事確認を行ったため作業費が増加しただけでなく、稠密環境で端末とAP接続の問題は放置された





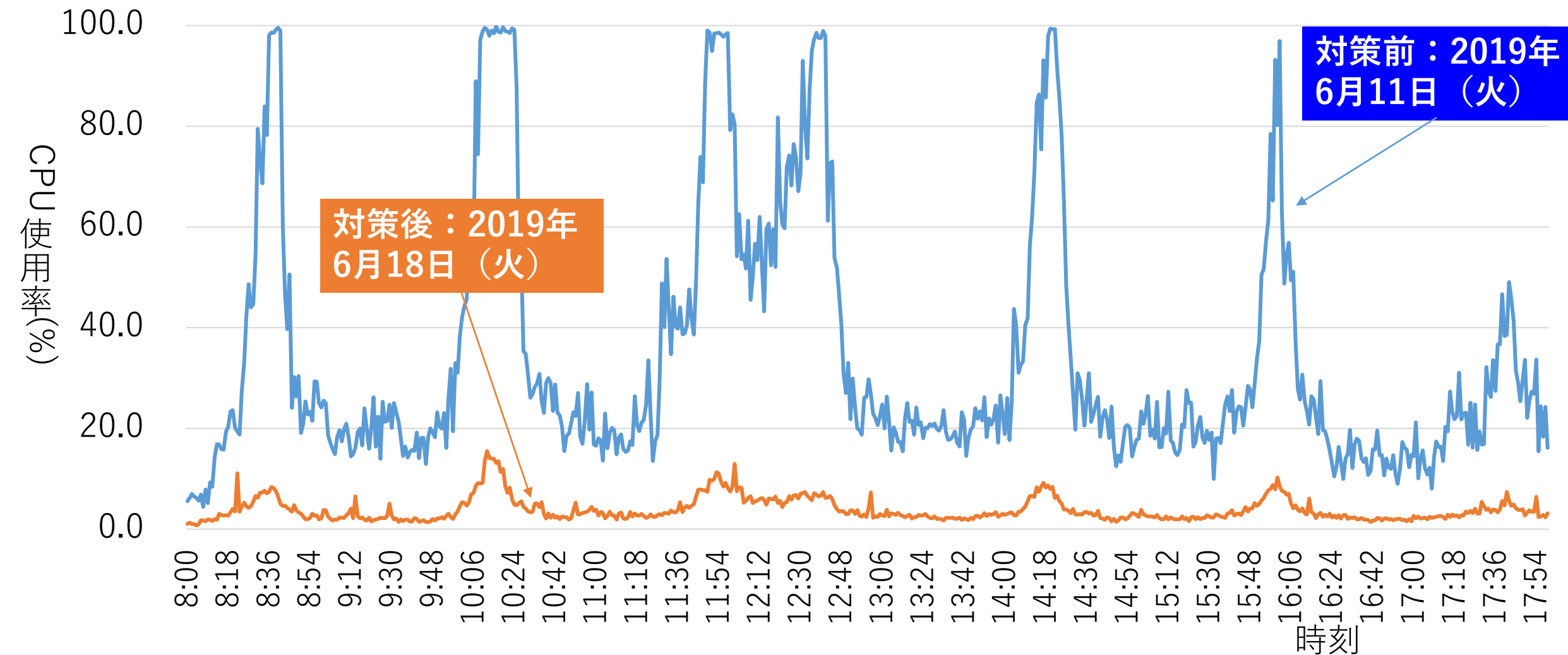
# eduroamの認証要求の集中による過負荷 事象の発生と対策実施

大学ICT推進協議会 2019年度年次  
大会で発表

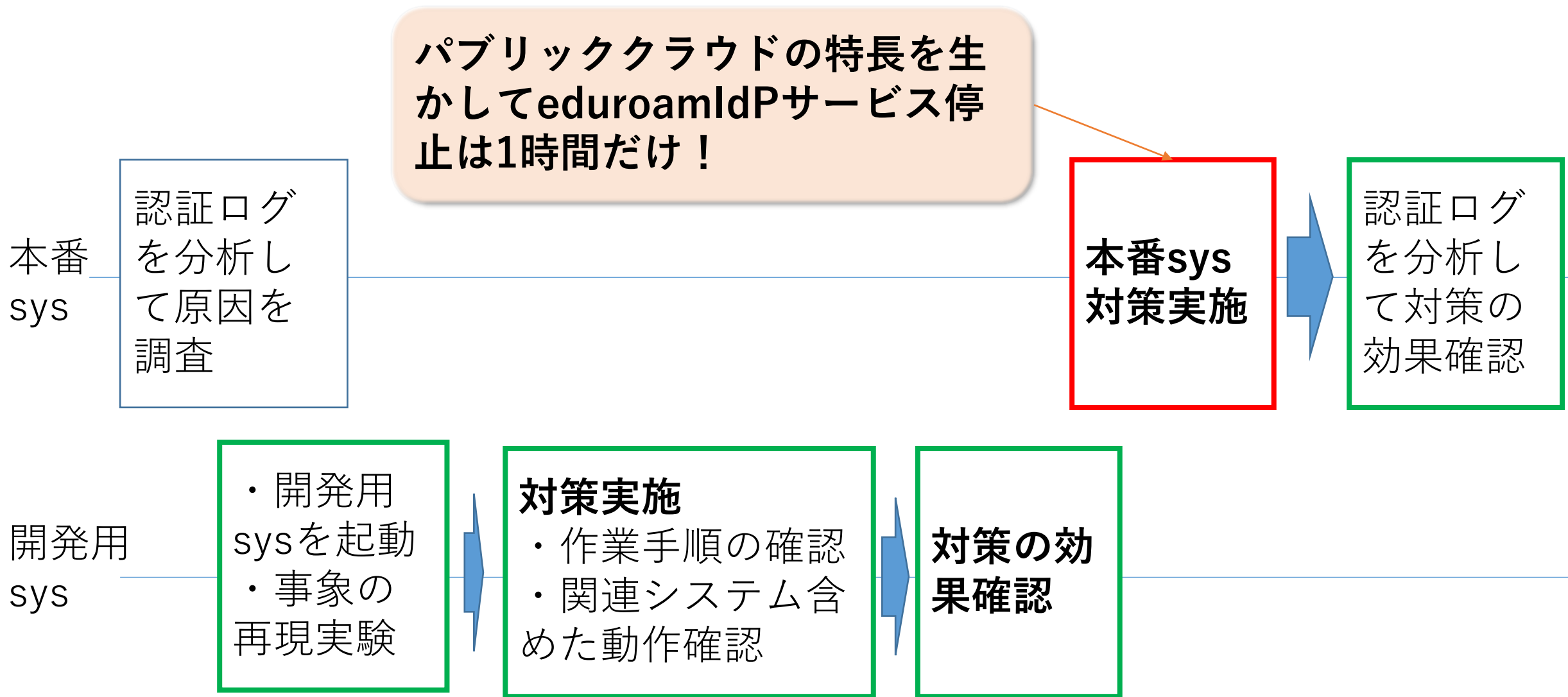


# 対策の効果 CPU使用率の日変化

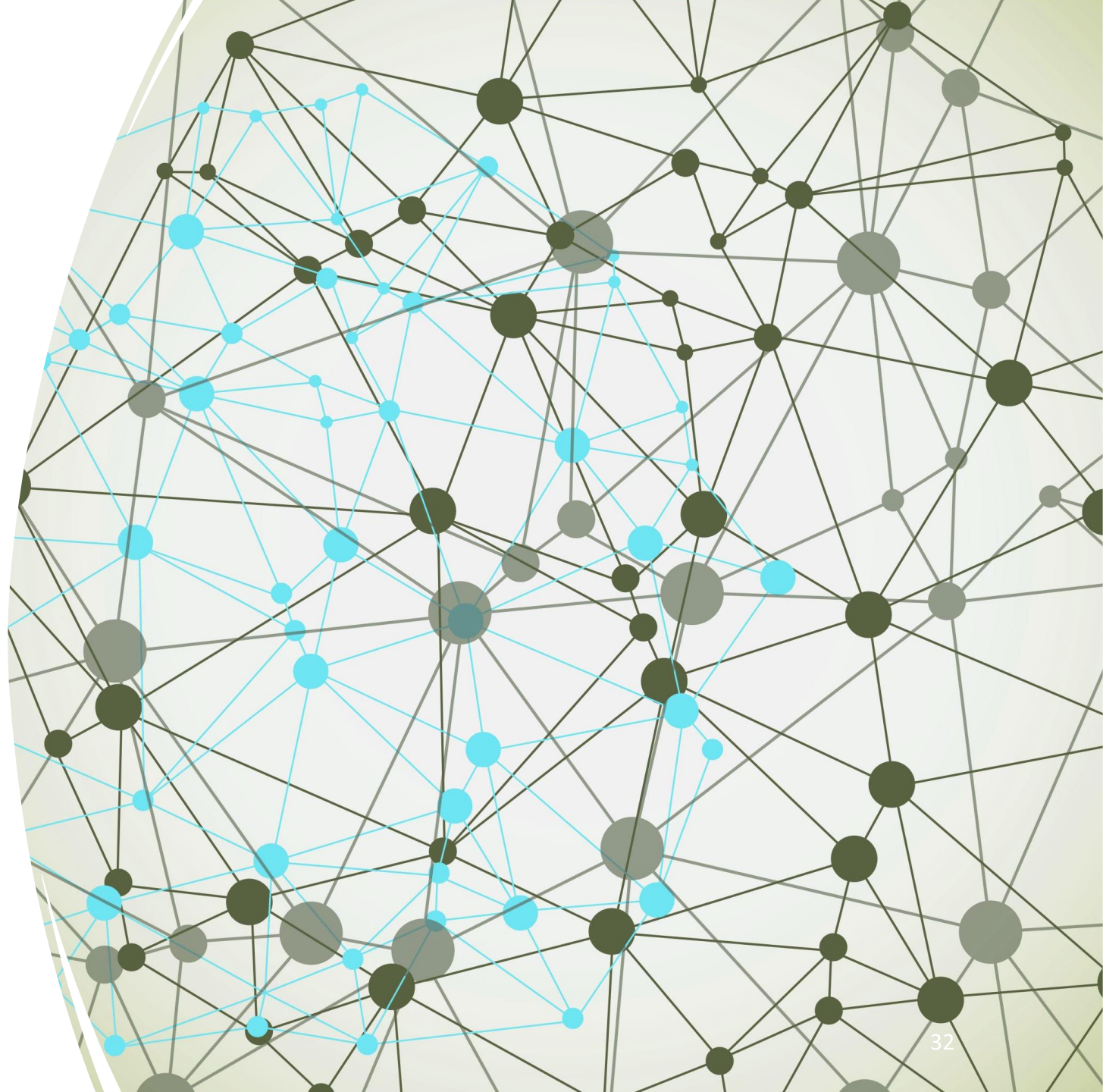
対策実施後は、eduroam認証要求によるCPU使用率の極端な増加は見られない



# eduroamIdP過負荷対策 実施方法



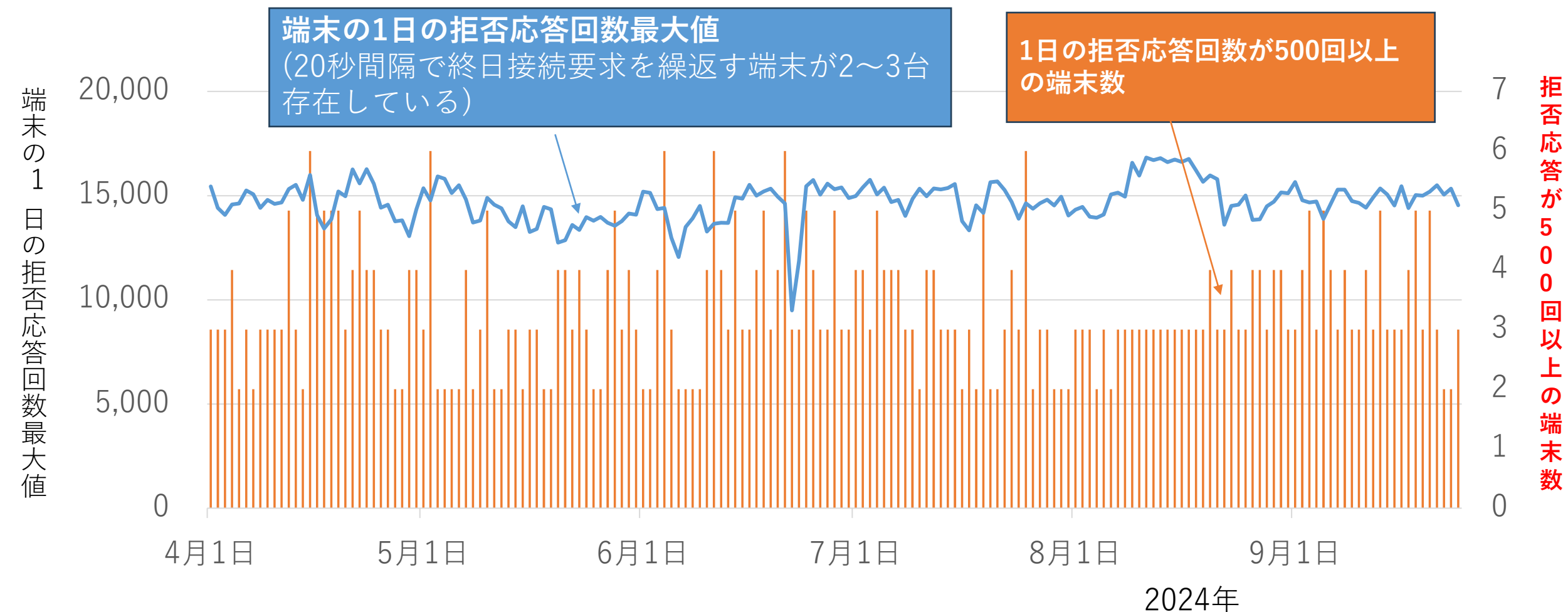
# 最近の問題





# 拒否応答に対して認証要求を繰り返す端末の存在

APの制御に従わない端末も存在する。600回/分の認証要求を繰り返しAPが過負荷で無線LAN利用に支障が発生したことがあった

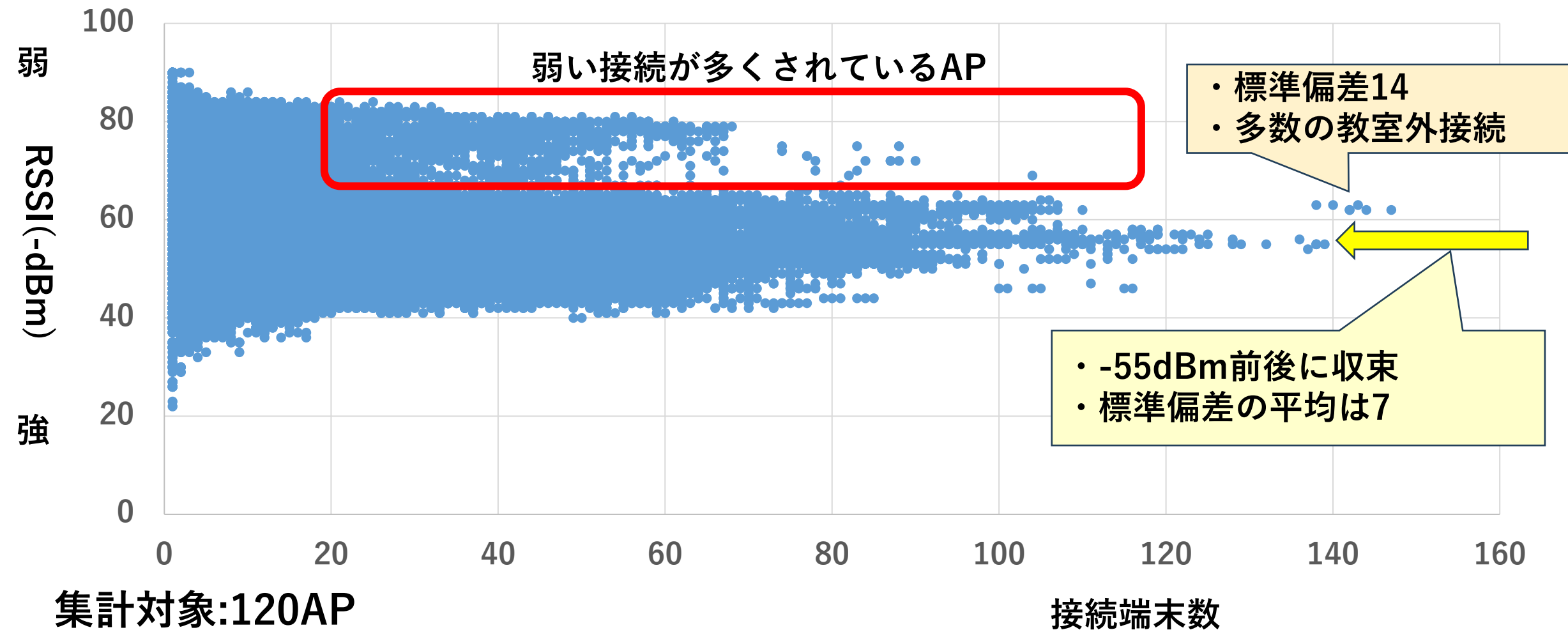






# 教室無線AP 教室外の弱い接続の端末(5GHz)

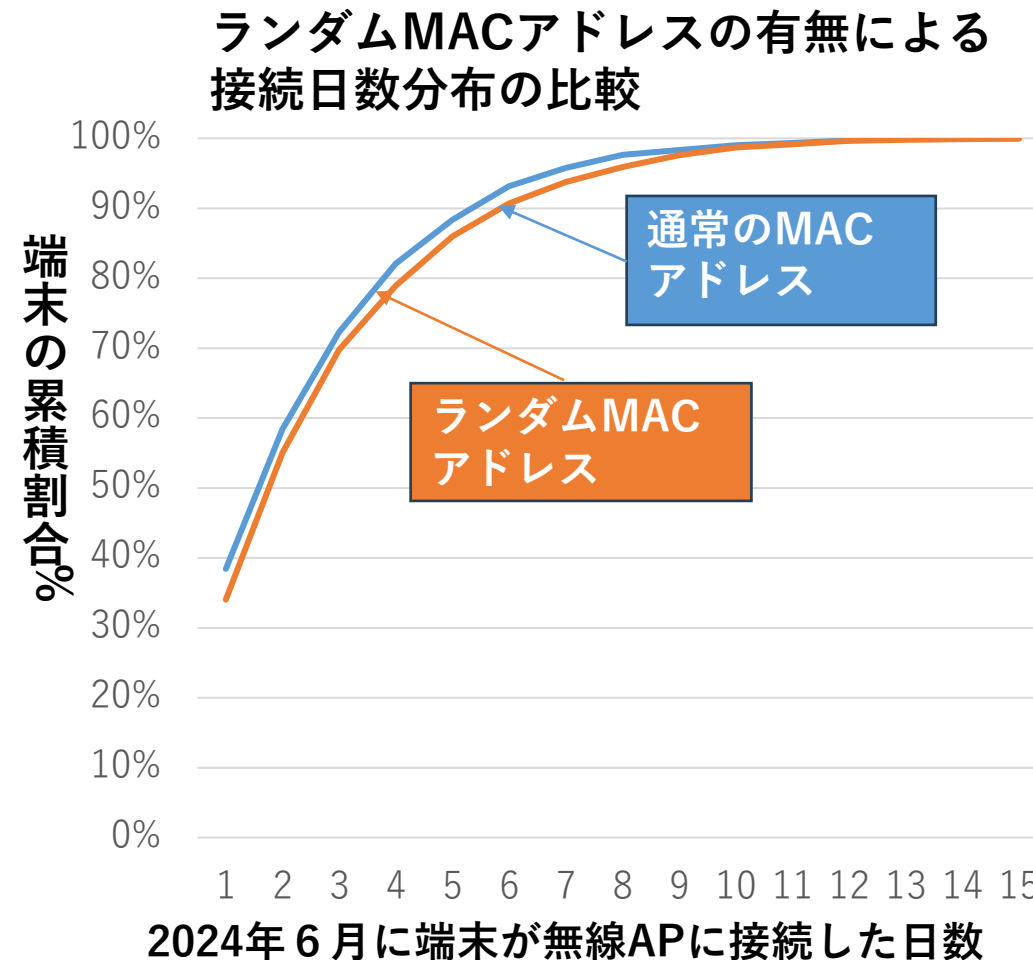
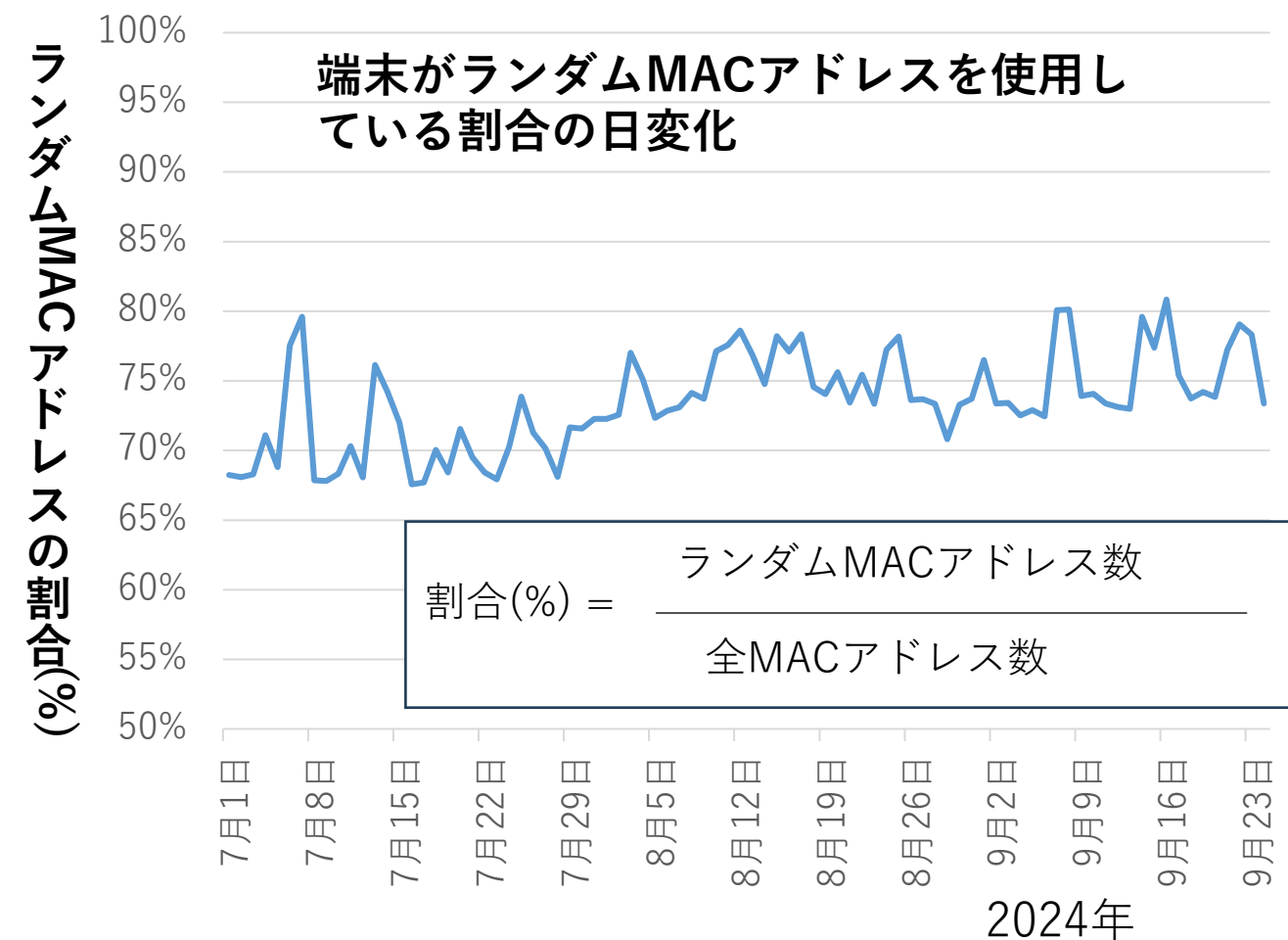
2024年 6 月 平日(月～金) 8時から18時の集計. 10分間隔で無線APの接続情報を取得し集計・平均RSSIは無線APに同時に接続している端末のRSSIの平均値





# 端末のランダムMACアドレスの影響

端末がeduroamに接続している日数の分布はランダムMACアドレスと通常のMACアドレスで同じ変化をしている, ランダムMACアドレスはSSID単位で異なるMACアドレスを使用している



# 気象レーダ検知によるDFS発生状況

- APが気象レーダを検知すると全端末を切断しチャネル変更する
  - W52を基本にしてチャネル割り当てを行ったため、電波干渉が発生した
- 
- 無線APが気象レーダ電波を検知した時にチャネル変更を行うDFS（Dynamic Frequency Selection）の発生に日・時間に顕著な傾向は認められない。
    - 日変化 明確な繰返しはない 最大 33回/日 平均 4回/日
    - 時間変化 社会活動が活発な日中に多くなる傾向はあるが24時間いつでも発生している
  - 無線AP毎の発生回数
    - チャネル変更が発生しているAPの割合は42%(対象APはW53及びW56が設定されているAPとチャネル自動設定が設定されているAPの合計)
    - 月1回以上のチャネル変更が発生しているAPの割合は6%

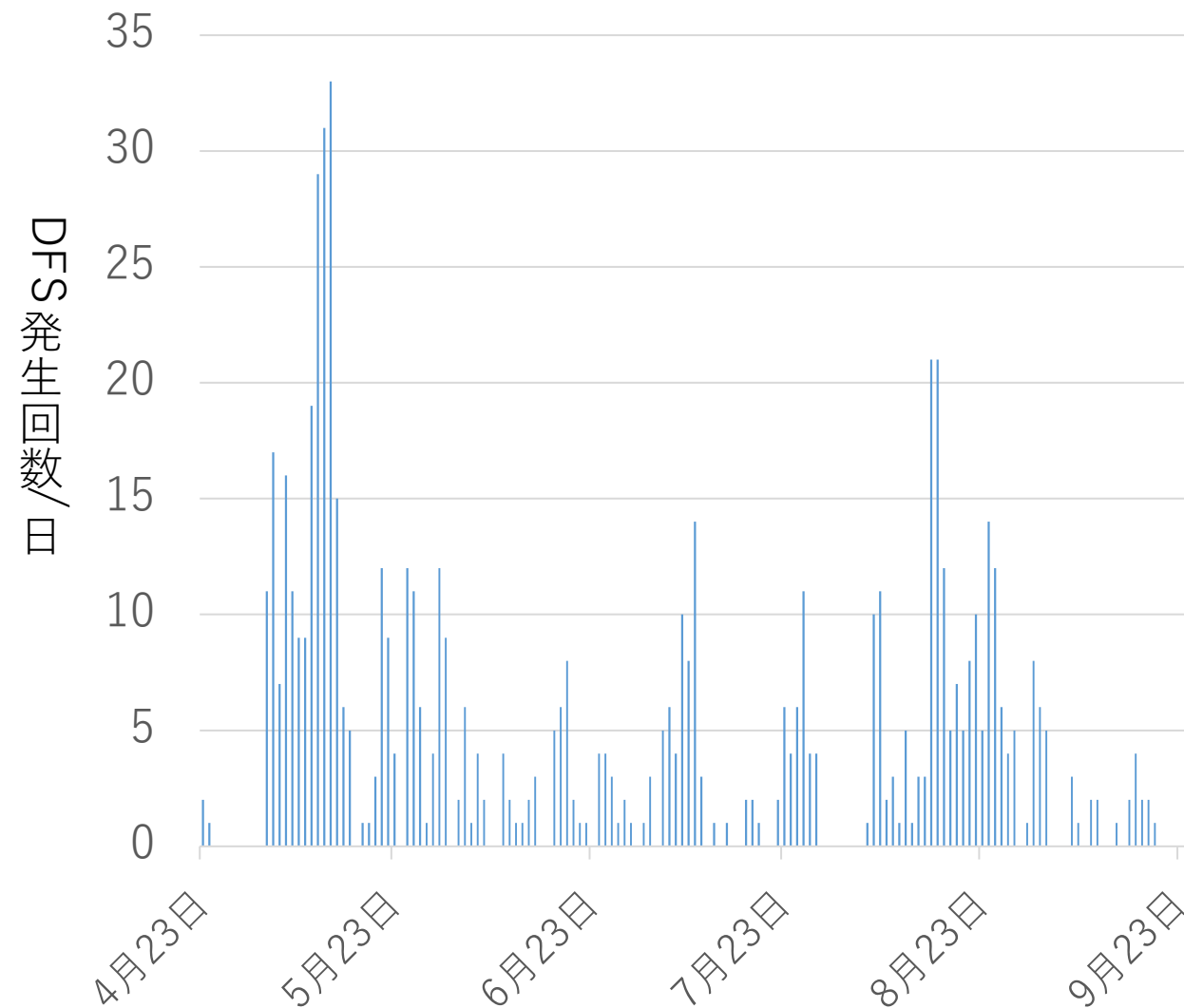




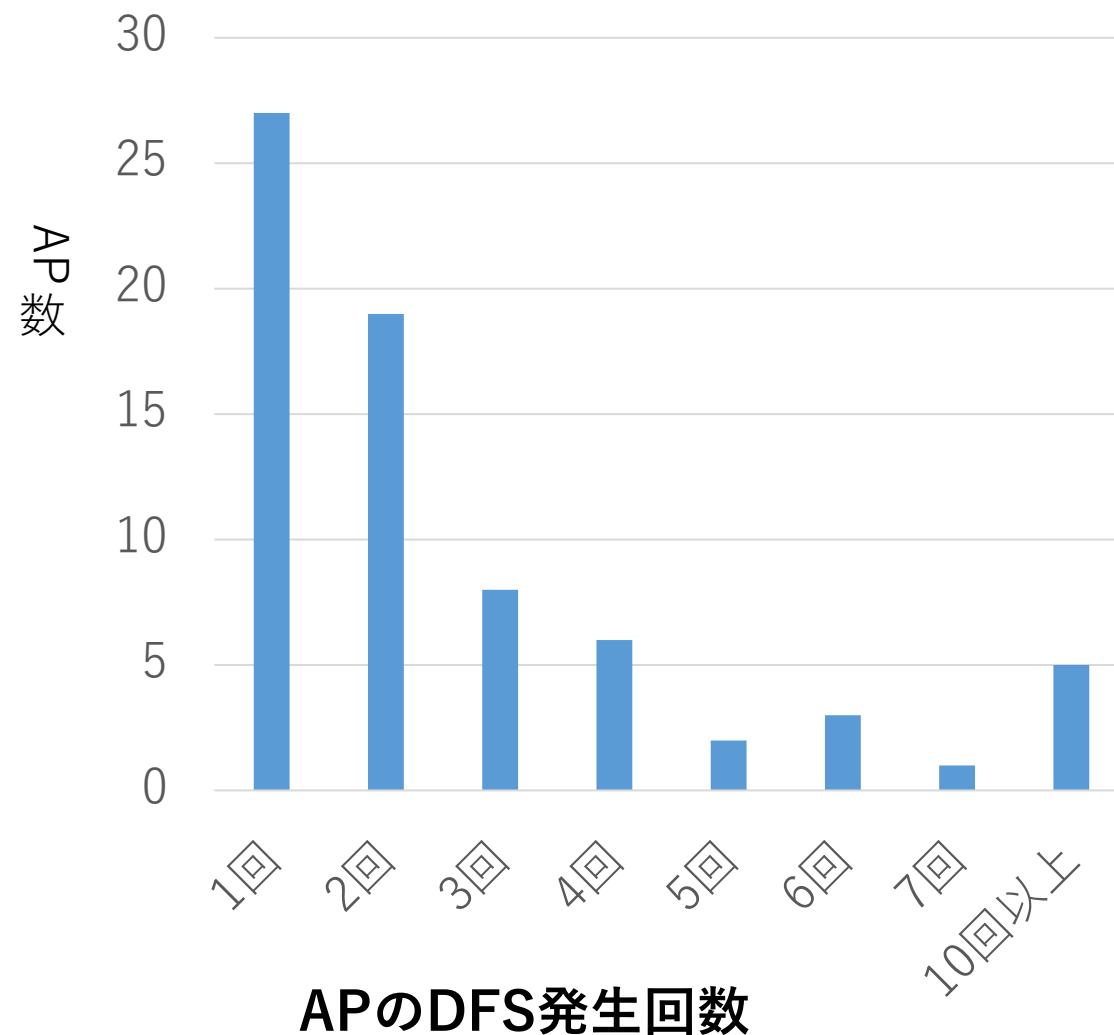
# DFS発生状況

2024年4月23日～9月24日の合計

## DFS発生回数の日変化



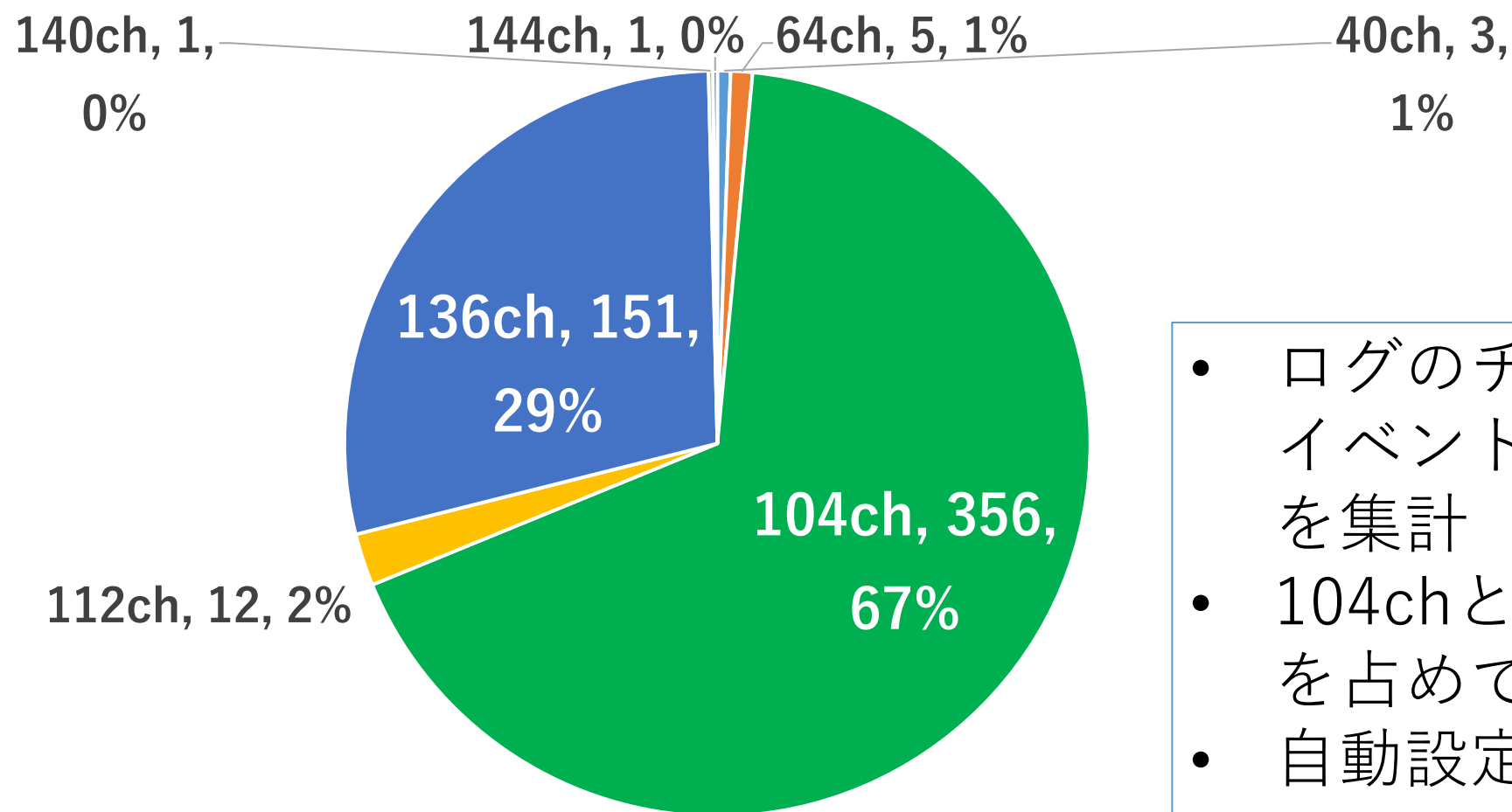
## 無線AP別のDFS発生回数





# チャンネル別 設定回数の割合

2024年4月23日～9月24日の155日間の集計



- ログのチャンネル設定イベントのチャンネルを集計
- 104chと136chで96%を占めている
- 自動設定は90AP

# チャネルの自動設定のまとめ

- 自動設定はAP起動時に空きチャネルを探して設定される。
- 停電からの復旧では周辺APも起動していないため、同じアルゴリズムでチャネル選択され**同じチャネルが設定される可能性が非常に高くなる。**  
(メーカーは稠密環境でのチャネル自動設定は推奨していない)

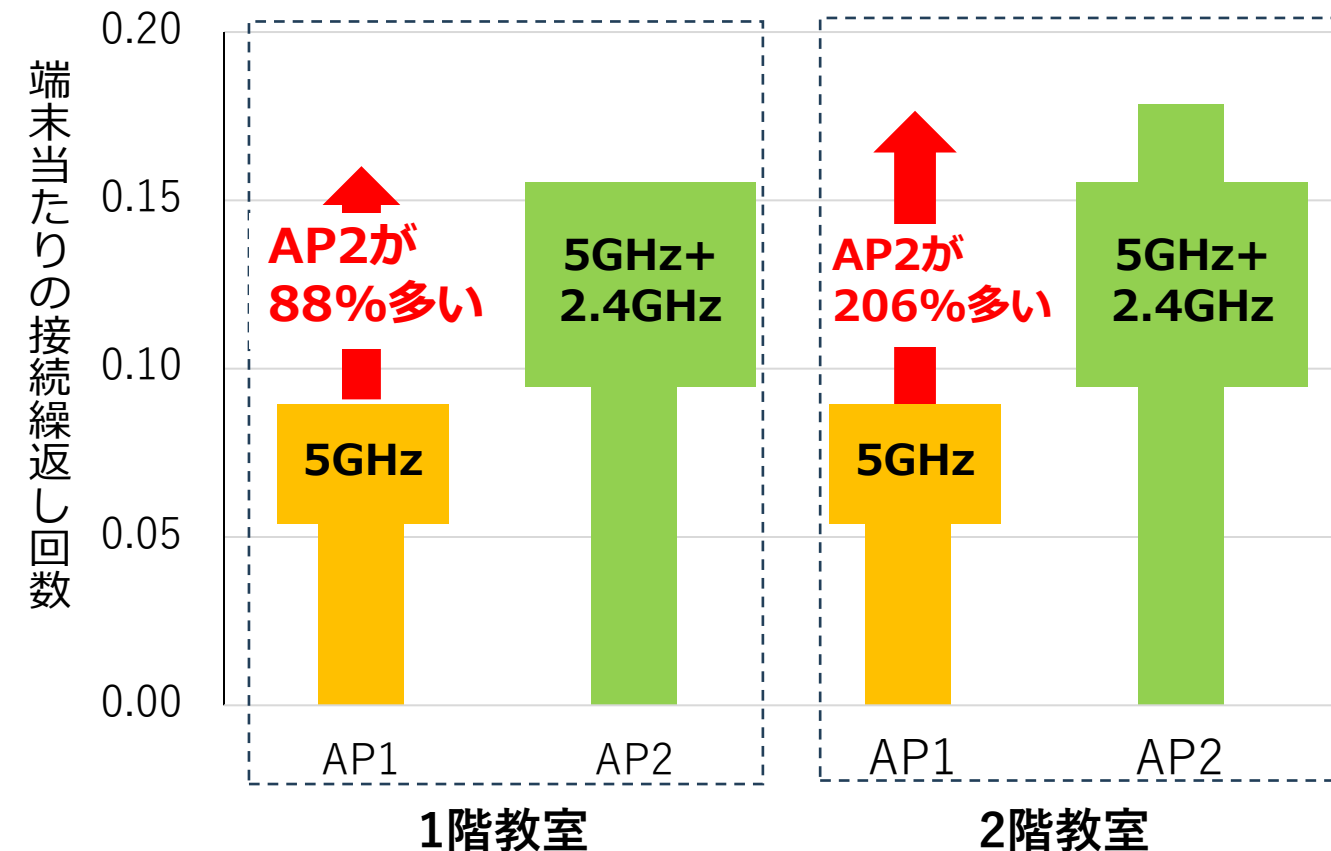


- APの設定変更, ファームウェアのバージョンアップ等による再起動も無線LANの利用が最も少ない早朝に実施されるため同様の事象が発生する可能性が高い。

チャネル自動設定のAPは機会をとらえて静的チャネル設定に変更する

# 教室APの5GHz専用化の効果

- APに5GHzと2.4GHzを同一SSIDを設定した場合に端末の接続が不安定となる
- 教室内の2台のAPを5GHzのみと5GHz+2.4GHz(元の設定)として比較し、  
**5GHz+2.4GHzの設定が端末接続が不安定となる原因**であることを確認した



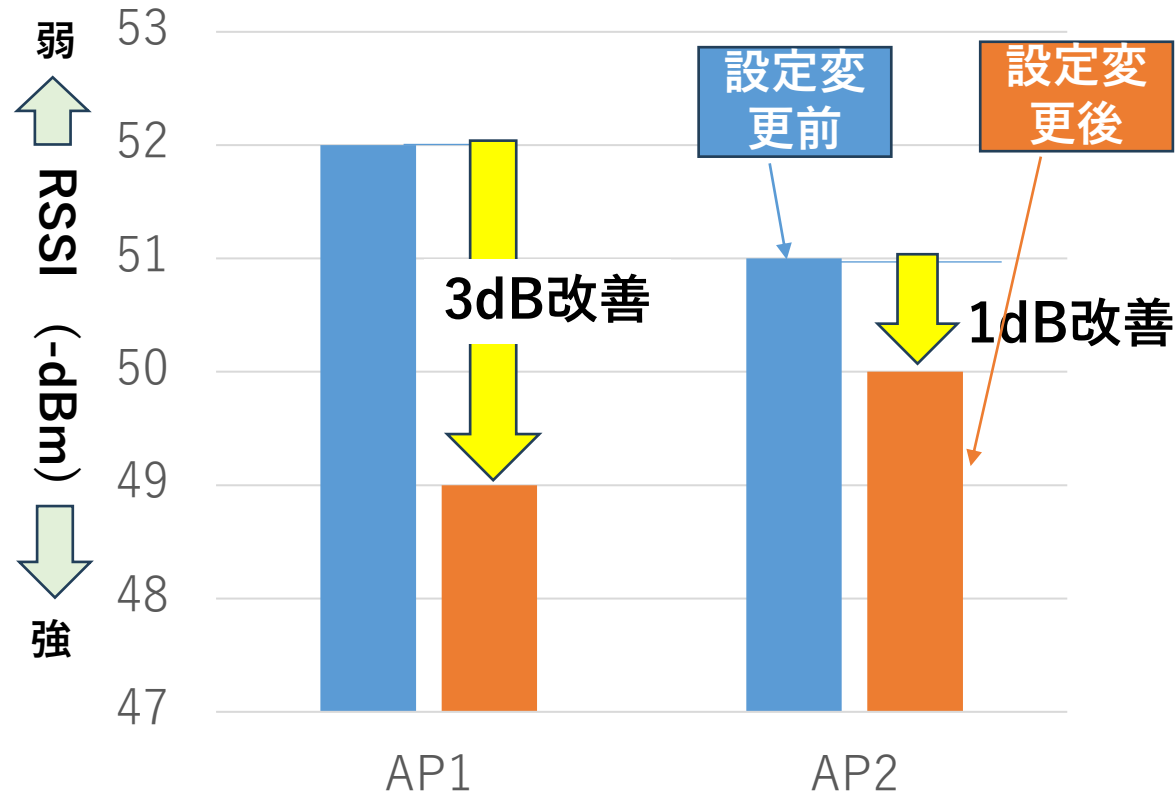
- 接続不安定事象の判定方法として、端末がAPに接続完了から10秒以内にAP接続処理を繰り返している割合を計算した
- 2.4GHzは5GHzと比べて電波が遠くまで届きやすく上下階教室や隣接教室からも無線APに接続できる。更に2.4GHzは本研究の対象外である研究室や事務室などで独自に設置された無線APによる電波干渉が多くチャネル使用率が高くなる。授業時間中に安定した接続とスループットが高い環境を実現するには5GHz専用化が有効

# カバー範囲の調整

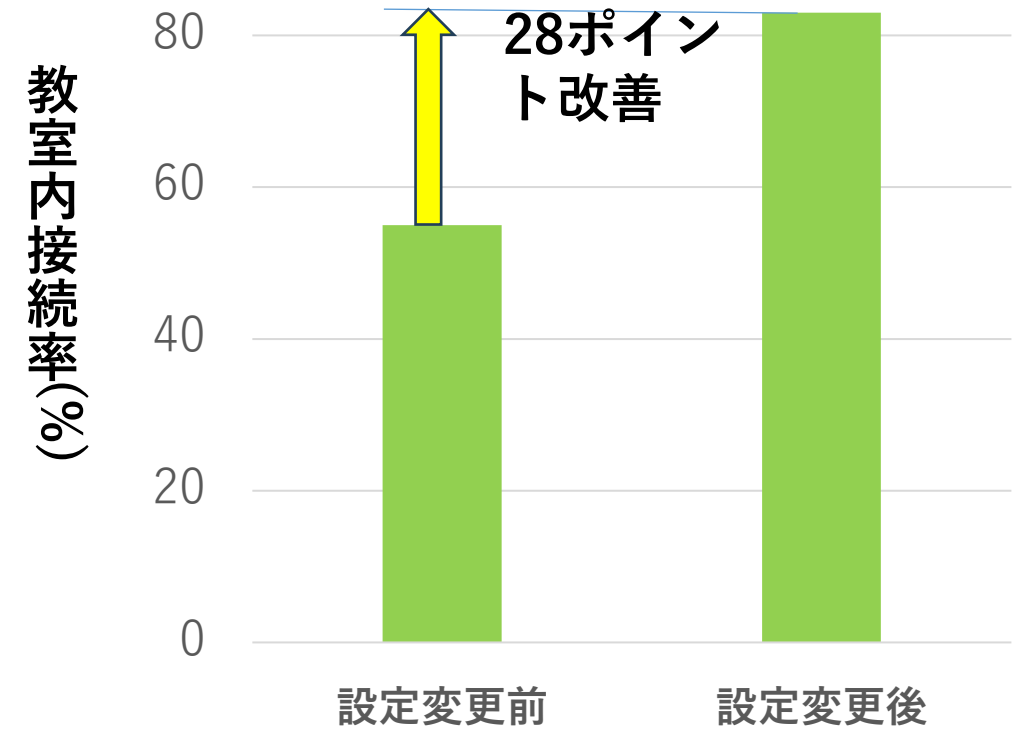
## 電波の送信出力を低減し，APのカバー範囲を小さくした


- 教室外から接続する端末を減らす
- Performance Anomaly問題の影響を軽減

教室APの平均RSSIの変化



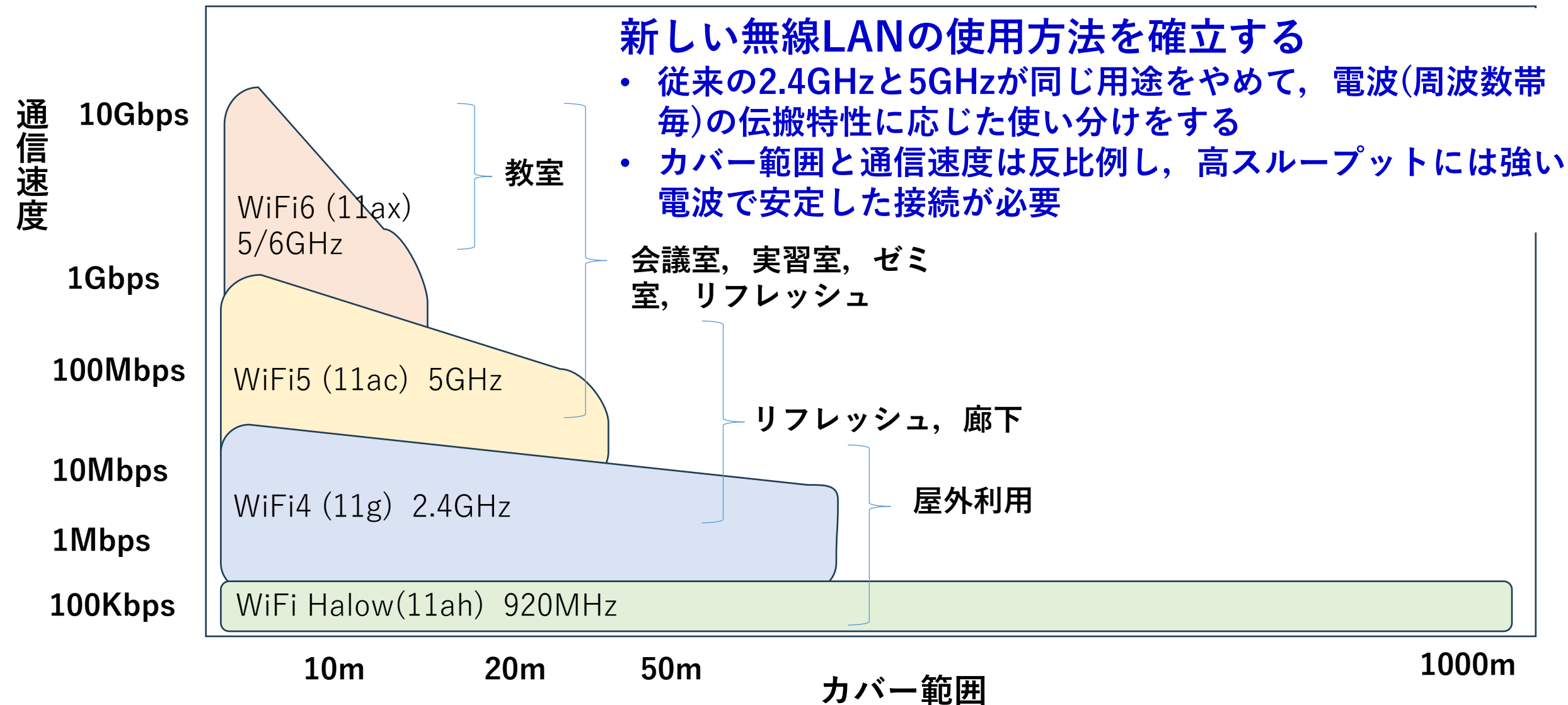
教室内接続率(-65dBm以上の接続)の変化





# 大学無線 LANの考察

# 無線LANが使用する周波数帯と通信速度の関係





# 無線LANの規格に対する誤解

- 規格の最大通信速度が得られるのは, APの直近で電波帯域を一人で占有できるとき.
- 大学の無線LANに必要なのは, 教室内に分散した多数の端末が接続した状態でAPトータルのトラフィックを最大にすること
- 通信速度が低くなる要因
  - APの接続端末数が多い
  - APと端末の距離が離れている(RSSIが小さい)
  - APの合計トラフィックが大きい
  - 電波干渉がある, チャンネル使用率が高い
  - APが高負荷状態



# 端末の通信速度が決まる要素

APが混雑している，小さいデータの通信が多いと  
伝送効率は低下する

SSID数に比例して増加する

接続端末数に比例して増加する

端末通信  
速度

$$\text{端末通信速度} = \frac{\text{AP伝送速度(最大値)} \times \text{無線区間の伝送効率} - \text{ビーコンのトラヒック} - \text{端末とAPの接続維持トラヒック}}{\text{AP接続端末数}}$$

APに接続する端末で通信帯域をシェアしている

# 無線LANの課題

- **ネットワークの負荷**

- 無線LANはエッジスイッチのポートの接続端末数が著しく大きい
- 無線通信区間の通信速度向上，多端末接続機能の改善などでAPのトラフィックが大きく増加

- **LAN配線**

- APの交換は簡単だが，1Gbps対応のCat5e/Cat6への張替は大きな費用が必要
- AP増設はLAN配線の追加が必要で大きな費用がかかる(簡単にできない)

- **継続的なデータ取得と分析**

- 分析手法の確立と傾向把握(機器故障，工事ミスではない無線LAN品質低下の把握)



# 静岡大学におけるWiFi運用史

～動作状況分析による無線LAN品質改善の取組み～

ありがとうございました

# 参考文献

- ◆ 永田正樹他, "パブリッククラウドとオープンソースソフトウェアを用いたトラフィック分散型 eduroam基盤「静大 IoT」の構築", 学術情報処理研究, 22巻, 1号, pp.12-22, 2018
- ◆ 山崎國弘他, "eduroamの認証要求の集中による過負荷事象の発生と対策実施について", 大学ICT推進協議会 2019年次大会 予稿集
- ◆ 山崎國弘他, "無線 AP 接続情報の集計・分析による教室無線 LAN の品質改善の検討", 大学ICT推進協議会 2023年次大会 予稿集
- ◆ 永田正樹他, "動作状況分析に基づいた無線LANシステム設計の提案", 学術情報処理研究, 28巻, 1号, PP.1-9, 2024