◇◇◇◇◇◇
特　集
◇◇◇◇◇◇

九州工業大学・全学セキュアネットワーク導入における無線LAN更新

福田 豊[1]
中村 豊[2]
佐藤 彰洋[3]

1　概要

九州工業大学では，2014 年 9 月に戸畑，飯塚，若松の 3 キャンパスに渡る全学セキュア・ネットワークシステムを導入しました．この導入の中で，無線 LAN システムを IEEE 802.11ac に対応する機材に更新し，3 キャンパスそれぞれに無線コントローラを設置していた構成の見直しや，冗長構成化等を実施しました．本稿では，更新における機材選定や構成の見直し，導入時の移行方法等について述べます．

2　はじめに

九州工業大学は 2014 年 9 月にネットワーク設備の更新を行いました．今回の更新では本学の戸畑，飯塚，若松の 3 キャンパスに渡って別々に導入されてきたネットワークを統合し，より効率的で安全な運用管理が可能なネットワーク基盤を目指して構成を検討しました．更新後のネットワーク構成は有線ネットワーク機材とファイヤーウォール，および無線 LAN に大別できますが，本稿ではこの内，無線 LAN について述べます．

本学では 2001 年から無線 LAN による情報コンセントサービスをスタートさせました．当初は自律分散型のアクセスポイントでの運用を行っていましたが，2010 年度には戸畑，飯塚両キャンパスに集中制御型無線 LAN 装置を導入しました．切替直後は講義室を中心に飯塚キャンパスに 34 台，戸畑キャンパスに 47 台，合計 81 台のアクセスポイントを設置しました．また，若松キャンパスは 2007 年度に集中制御型無線 LAN を導入し，37 台のアクセスポイントを設置しました．以後，戸畑，飯塚両キャンパスで建屋改修時にアクセスポイント設置を提案したり，無線 LAN 整備プロジェクトを企画・実行した結果，2014 年 8 月時点では 3 キャンパス合計でアクセスポイントを 198 台まで増やすことができました．さらにこのエリアの拡大に伴って，無線 LAN の 1 日当たりの平均利用者数も図 1 に示すように順調に増加して来ました．

こうした利用状況の拡大傾向を踏まえ，今回の無線 LAN の更新では，(1) 無線 LAN の処理性能向上と，(2) 更なる提供エリアの拡充，及び (3) 管理体制の強化を目指すことにしました．この目標の下，更新後の構成について以下に示す検討を行いました．

1. IEEE 802.11ac [1] の導入
2. 無線 LAN エリアの拡充

[1]情報科学センター　助教　fukuda@isc.kyutech.ac.jp
[2]情報科学センター　准教授　yutaka-n@isc.kyutech.ac.jp
[3]情報科学センター　助教　satoh@isc.kyutech.ac.jp

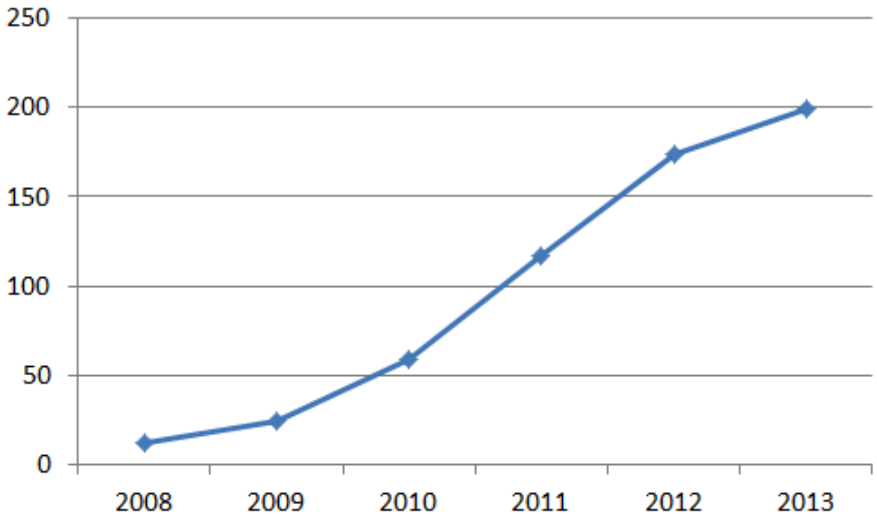

図 1: 1 日平均利用者数 (2008 年 〜 2013 年)

3. コントローラの集約と冗長構成化

4. PoE (Power Over Ethernet) 全面導入

5. 無線 LAN 統合管理システムの導入

6. 認証システムの導入

上記項目に従って調達機材の要件を定義し，調達機材決定後は要件を満たすことができるようにネットワークを構築しました．こうした検討に加えて，出来るだけ無線 LAN のダウンタイムを短くできるように移行作業を工夫しました．具体的には，新しいコントローラで提供する無線 LAN 用に予めネットワークアドレスを確保し，新旧コントローラを並行稼働させることで，接続停止時間の短縮化を図りました．

以降，2 節では更新前の無線 LAN システムについて，3 節で新システムの要件，4 節では導入について述べ，最後に 5 節でまとめと今後の課題を示します．

3 更新前の無線 LAN システム

更新前の無線 LAN システムを表 1 と図 2 に，また SSID (Service Set Identifier) と認証方式，及び割り当てていたネットワークアドレスを表 2 に示します．

無線 LAN コントローラは戸畑，飯塚，若松の 3 キャパスそれぞれで独立して稼働しており，各アクセスポイントは同じ IP アドレス体系ながらもキャンパスごとに異なる VLAN ID を割り当てられたネットワークに所属していました．また，アクセスポイントへの給電は PoE [2] と PoE インジェクタ，及び AC 電源を用いていました．

戸畑，飯塚キャンパスで提供していた無線 LAN 規格は IEEE 802.11a/b/g/n [3] で，2.4 GHz 帯には学内用に加えて eduroam [4] と学外者の一時的な無線 LAN 利用向けの 3 つの SSID を，5 GHz 帯には学内用に 1 つの SSID を提供してきました．eduroam には若松を含む 3 キャンパス共用で /24 のネットワークアドレスを 1 つ割り当てていました．学内向け SSID には戸畑，飯塚キャンパスそれぞれに /24 のネットワークアドレスを確保し，2.4 GHz と 5 GHz 用 SSID で共用していました．しかし，利用者の急増に伴って 2014 年 4 月には /23 へと拡張，それでも不足したことから同年 6 月に /22 にまで拡張しました．

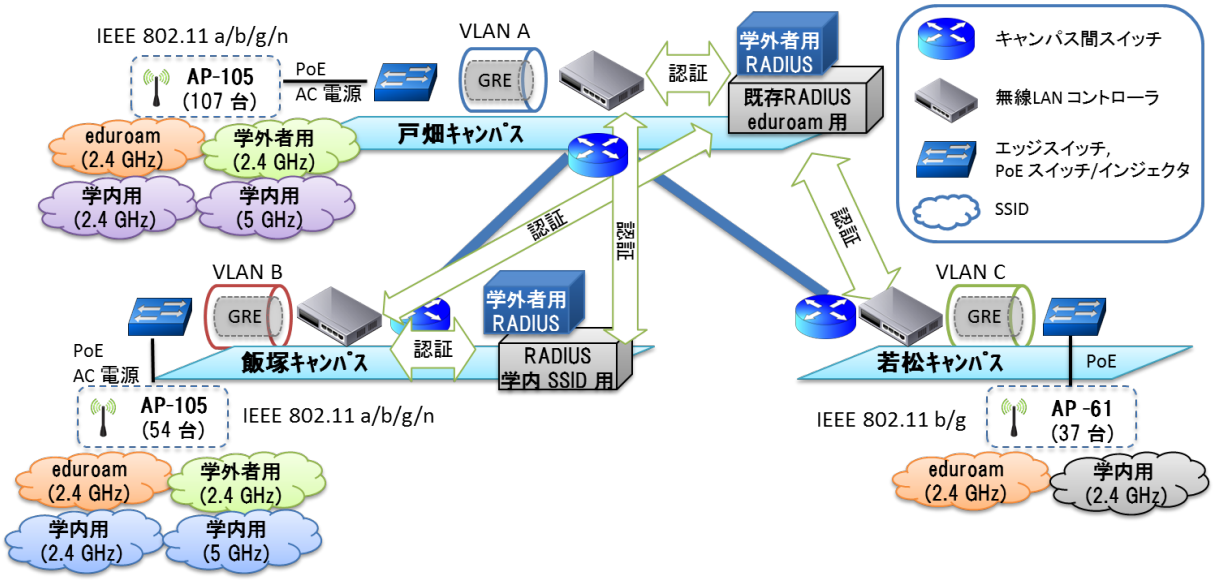

図 2: 更新前無線 LAN システム構成図

表 1: 更新前無線 LAN システム機材一覧

キャンパス	種別	メーカ名	型番	台数	備考
戸畑	コントローラ	Aruba	3600	1	
	アクセスポイント	Aruba	AP-105	107	IEEE 802.11a/b/g/n, 2x2 MIMO
飯塚	コントローラ	Aruba	3400	1	
	アクセスポイント	Aruba	AP-105	54	IEEE 802.11a/b/g/n, 2x2 MIMO
若松	コントローラ	Aruba	a2400-48	1	
	アクセスポイント	Aruba	AP61-W5X	37	IEEE 802.11b/g

また学内用/学外者用の SSID では，2013 年度までは NetSpring 社 Ferec 720 による web 認証を利用し，無線 LAN 専用の ID/Password を発行していました．さらに，無線 LAN に同時接続出来る端末は 1 台のみという制限も設けていました．しかし，本学で統合 ID 環境が整備されたことから，2014 年度からは学内統合 ID を利用した IEEE 802.1X [5] 認証に変更し，同時接続数の制限も無くすことにしました．これに伴い，Ferec による web 認証は学外者の一時的な利用向けにのみ残すことになりました．

一方，若松キャンパスは IEEE 802.11 b/g に対応した無線 LAN コントローラを利用しており，2.4 GHz 帯で学内向けと eduroam 向けの 2 つの SSID を提供していました．また，学内向けの SSID では mac アドレスによる認証を行い，mac アドレスはコントローラ内部で管理していました．AP への給電には主に Cisco 社の PoE インジェクタ AIR-PWRINJ3 を利用していました．

4 新しい無線 LAN システムの要件

1 節で述べたように，今回の導入では (1) 無線 LAN の処理性能向上と，(2) 更なる提供エリアの拡充，及び (3) 管理体制の強化を目指して，以下に示す 6 つの要件を検討しました．本節では各項目について述べます．

表 2: 各周波数帯の SSID，認証，ネットワークアドレス

キャンパス	SSID	周波数帯	認証	ネットワークアドレス
戸畑	学内用	2.4 GHz, 5 GHz	IEEE 802.1X	/22 を 2.4 GHz 用と 5 GHz 用の SSID で共用
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用
	学外者用	2.4 GHz	web 認証	/24 を使用
飯塚	学内用	2.4 GHz, 5 GHz	IEEE 802.1X	/22 を 2.4 GHz 用と 5 GHz 用の SSID で共用
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用
	学外者用	2.4 GHz	web 認証	/24 を使用
若松	学内用	2.4 GHz	mac アドレス認証	/24 を使用
	eduroam	2.4 GHz	IEEE 802.1X	/24 を 3 キャンパスで共用

4.1 IEEE 802.11ac の導入

今回の更新では，賃借期間が従来の 4 年から 5 年へと 1 年間延長されることになりました．よって，従来よりも長い期間に渡って本学のネットワーク基盤として活用できる機材が必要です．導入機材の検討期間中，通信速度がより高速化された IEEE 802.11ac の標準化作業が進んでいましたが，更新時期に対応機材が発売されるかどうかは不明でした．しかし，従来と同規格の IEEE 802.11n での移行では今後の通信需要増大に十分応えることが出来なくなる恐れがあるため，IEEE 802.11ac の導入を前提として標準化動向を注視し，更新時期に間に合うよう製品が発売されることを確認後，IEEE 802.11ac に対応することを導入機材の必要要件としました．また，従来の中央制御型に加え，コントローラを必要としない自律分散型の無線 LAN 製品も検討しました．しかし大規模無線 LAN での運用実績や運営管理方法が未知数であったため，自律型分散型は時期尚早と考え，従来通りコントローラを備え集中制御可能であることを要件としました．

4.2 無線 LAN エリアの拡充

2010 年度に集中制御型の無線 LAN コントローラを戸畑，飯塚キャンパスに導入後，講義室やリフレッシュスペース等公共性が高い場所を中心にアクセスポイントの整備を進めてきました．こうした場所に加えて，今回は有線機材が全キャンパスに渡って展開されることから，設定投入やトラブル対応時にインターネットへのアクセス回線を確保するために，ノードスイッチが設置されるところにはアクセスポイントを設置することにしました．さらに，改修された建屋や PBL (Project Based Learning) 学習等のために新設された講義室には，アクセスポイントを新設することにしました．

4.3 コントローラの集約と冗長構成化

更新前は戸畑，飯塚，若松の 3 キャパスそれぞれに無線 LAN コントローラを設置し，異なる VLAN ID を利用して各キャンパス内に閉じた管理を行ってきました．しかし，費用対効果の面からコントローラは戸畑，飯塚各キャンパスの 2 台体制に集約し，若松キャンパスのアクセスポイントは戸畑キャンパスのコントローラに収容することにしました．これに伴い，既存のアクセスポイント管理用 VLAN は廃止し，キャンパス間にまたがって運営管理を行う機材向けの VLAN ID から無線 LAN 用を確保し，

全てのアクセスポイントはこの VLAN 内に収容することにしました．こうした作業のために全学的な VLAN ID の管理見直しを実施しました．

加えて，耐障害性向上のため，コントローラの冗長構成化も検討しました．コントローラ間で冗長構成を組んでいる場合，アクセスポイントは自身が所属するコントローラで障害が発生しても，他方のコントローラに切換えることで，通信を継続することができます．さらに大学の場合，年一度の法令点検でキャンパス全体が停電するため，戸畑キャンパス停電時，若松キャンパスのアクセスポイントはコントローラと通信出来ずに不通となってしまいます．その際も飯塚キャンパスのコントローラに円滑に切換えて通信を継続することができるように，コントローラは冗長構成化することにしました．

4.4 PoE 全面導入

更新前は一部のアクセスポイントの給電には AC 電源を利用していました．しかしこれまでに AC 電源のプラグの先端が経年劣化して給電されなくなるトラブルが数件あったこと，また遠隔から電源の on/off が不可能であるため，全アクセスポイントで PoE を利用することにしました．アクセスポイントは IEEE 802.11ac 対応を想定しているため，IEEE 802.3 af/at [2, 6] に対応していることを必要要件とし，複数台集約できる場所は PoE スイッチ を，1 台しかない場所では PoE インジェクタを準備することにしました．

4.5 無線 LAN 統合管理システムの導入

アクセスポイントの台数が増加しており，トラブル原因も多岐にわたるようになってきたため，コントローラによる管理に加えて，無線 LAN の統合管理を提供するソフトウェアを導入することにしました．ソフトウェアはコントローラと連携して稼働し，本調達に含める仮想基盤システム上で動くことを要件としました．

4.6 認証システムの導入

前述したように，これまで学外者用の無線 LAN 接続には，Ferec 720 による web 認証を提供してきました．しかし，Ferec 720 が管理できる同時接続クライアント数の上限は 250 台と限られており，学会開催時に 200 ID 以上を希望されることが増えてきたため，新たに認証システムを導入することにしました．認証システムの要件は以下の通りです．

1. 認証機能として，Web 認証，MAC 認証，IEEE802.1X 認証向けの RADIUS 機能を有すること
2. 証明書を発行する機能を有すること
3. アカウントの作成，編集，削除機能を有すること
4. アカウントの一括編集機能を有すること
5. 外部 LDAP/AD にユーザ情報を参照して，認証を行う連携機能を有すること
6. 本調達に含まれる仮想基盤システム上で動作すること

5 導入

本節では，新たに導入した機材と導入作業，および導入後の稼働状況について述べます．

表 3: 新無線 LAN システム機材一覧

種別	メーカ名	型番	台数	備考
コントローラ	Aruba	7210	2	戸畑，若松キャンパスに設置 冗長構成化
アクセスポイント	Aruba	AP-225	253	IEEE 802.11ac 対応, 3x3 MIMO
屋外用アクセスポイント	Aruba	AP-175	1	IEEE 802.11a/b/g/n, 2x2 MIMO
統合管理ソフトウェア	Aruba	AirWave	1	仮想基盤上にインストール
PoE スイッチ	Juniper	EX2200-24p EX3300-48P	55	IEEE 802.3af/at 対応
PoE インジェクタ	Microsemi	PD-9001GR/AC-JP	10	IEEE 802.3af/at 対応
認証システム	日立金属	Account@Adapter	1	仮想基盤上にインストール

図 3: Aruba 7210

5.1 新しい機材

調達の結果，新たに導入する機材はこれまでと同様 Aruba 社製品となりました．無線 LAN コントローラは 7210 (図 3)，アクセスポイントは AP-225 (図 4)(1 箇所のみ屋外用として AP-175P を導入) です．PoE スイッチは Juniper 社の EX2200-24P と EX3300-48P で，共に IEEE 802.3at/af に対応しており，EX2200-24P は最大 405 W，EX3300-48P は 740 W まで給電可能です．また，PoE インジェクタは IEEE 802.3at 対応の Microsemi 社 PD-9001GR/AC-JP (図 [2]) です．また，認証システムは日立電線ネットワークの Account@Adapter になりました．導入機材の一覧を表 3 に示します．

5.2 構成検討

まず最初にアクセスポイントとコントローラの接続構成について，全てのトラヒックがコントローラを経由する *Tunnel* 方式と，アクセスポイントから幹線側に直収される *Bridge* 方式を検討しました．*Bridge* 方式の場合，コントローラとの接続が切断されても接続済の端末はそのまま通信を継続することができます．また，若松キャンパスのアクセスポイントは戸畑キャンパスのコントローラを経由せずに通信することができます．その一方で，全てのアクセスポイントまで SSID に紐付く VLAN を延伸する必要があることや，コントローラでの web 認証が利用不可であること，アクセスポイント側での処理負担増により通信性能が低下することが分かったため，今回は従来と同様全てのトラヒックがコントローラを経由する *Tunnel* 方式としました．

コントローラは検討通り戸畑，飯塚キャンパスに集約し，若松キャンパスのアクセスポイントは戸畑キャンパスに設置するコントローラに収容することにしました．またコントローラは戸畑，飯塚間で冗長構成を組むことにしました．この構成では若松キャンパスのトラヒックは必ずキャンパス間を経由することになるため，コントローラは幹線スイッチではなく，より上位のキャンパス間スイッチの配下に

図 4: Aruba AP-225

接続することにした．また，トラヒックがコントローラに集中する対策としては，コントローラとキャンパス間スイッチの接続を 10 GBASE-SR に増強しました．なお，ライセンスはコントローラ間で集約して利用可能であり，個別の同数ライセンス導入は不要でした．

PoE スイッチとインジェクタは，運用管理効率を考慮して各建屋の受け口となるノードスイッチに収容することにしました．なお，各スイッチの詳細については [7] を参照してください．

SSID は，若松キャンパスに 5 GHz 帯の学内用 SSID を追加した他は従来環境をそのまま引き継ぐことにし，チャネルボンディングによる増強も導入時点では見合わせました．一方で，IEEE 802.1X 認証の導入後，無線 LAN を利用する端末数は急速に増加しており，導入直前には学内用 SSID のネットワークを /22 にまで拡張していました．最近では利用者がノートパソコンやタブレット，スマートフォンなどの端末を複数所持し，かつそれらの端末を同時に無線 LAN に接続して利用することが増えています．そこで，今後の増加も見越して，戸畑，飯塚キャンパスの学内向け SSID には /20 のネットワークを提供することにしました．

学外者の無線 LAN のアカウントは Account@Adapter で管理することにし，認証は Aruba 7210 の captive portal による web 認証を利用することにしました．web 認証画面を図 7 に示します．この変更により，同時接続の制限を受けずに学外者向けのアカウントを提供することが可能となりました．

以上の検討による無線 LAN の新しい構成を図 6 に示します．

5.3 移行作業

試験期間などを避けて調整した結果，実際の機材更新作業は以下のように進めることになりました．

- 7/19, 20 若松キャンパス内機材更新．戸畑キャンパスに無線 LAN の新コントローラ投入
- 8/12 キャンパス間スイッチ更新
- 8/13,14 戸畑キャンパス・コアスイッチ更新
- 8/15 飯塚キャンパス・コアスイッチ更新．飯塚キャンパスに無線 LAN の新コントローラ投入

図 5: PoE インジェクタ PD-9001GR/AC-JP

- 8/18 以降，順次ノード，フロアスイッチ，アクセスポイント等更新

無線 LAN の更新はネットワーク停止を出来るだけ最小限に抑えるため，新しいコントローラで提供する SSID 用のネットワークアドレスを予め確保し，新旧のコントローラを並行稼働させて同じ SSID を提供することにし，以下のように 3 段階で進めることにしました．

(1) 第 1 段階　若松キャンパス更新時，戸畑キャンパスに新無線 LAN コントローラを投入．若松キャンパスはキャンパスの規模が小さく導入する機材の台数が少ないため，ネットワークを停止させて移行することにし，新アクセスポイントの付け替えとスイッチの設置は 1 日で終わらせることができました．この更新作業と同時に戸畑キャンパスに新無線 LAN コントローラを投入し，順次取り替えたアクセスポイントが通信出来る事を確認しました．この時点では，若松キャンパスのみ新無線 LAN コントローラへと移行し，戸畑，飯塚キャンパスの無線 LAN は旧環境のままであり，戸畑キャンパスには新旧のコントローラが平行して稼働していました．

(2) 第 2 段階 新キャンパス間スイッチに新旧無線 LAN コントローラを収容．キャンパス間スイッチを入れ替えた段階で，新旧無線 LAN コントローラを新キャパス間スイッチに収容しました．新しいキャンパス間スイッチと続いて更新した幹線スイッチに新旧無線 LAN 用の VLAN ID を設定し，コントローラが並行稼働している状態を維持しました．またこの時点で，若松キャンパスの eduroam を新コントローラに収容換えしました．

(3) 第 3 段階　順次 PoE スイッチとアクセスポイントを更新．各キャンパスで PoE スイッチを収容するノードスイッチを更新するタイミングに合わせてアクセスポイントを更新していきました．すべてのアクセスポイントが切り替わるまでコントローラは並行稼働していたため，無線 LAN を停止させることなく更新することができました．全アクセスポイントの更新後，旧コントローラを停止させ，不要になった旧無線 LAN 用の VLAN を削除して更新を完了しました．

5.4　移行後の稼働状況

更新後の 9 月〜 12 月について，平均利用者数を図 8 に示します．図 8 より，月に応じてばらつきはあるものの，前年と比較して大きく利用者数が増加し，約 1000 人/日の利用者がいることが分かります．さらに，図 9 より平均利用回数を見ると，一人が一日に無線 LAN に接続する回数は約 2 回から 7 回へ

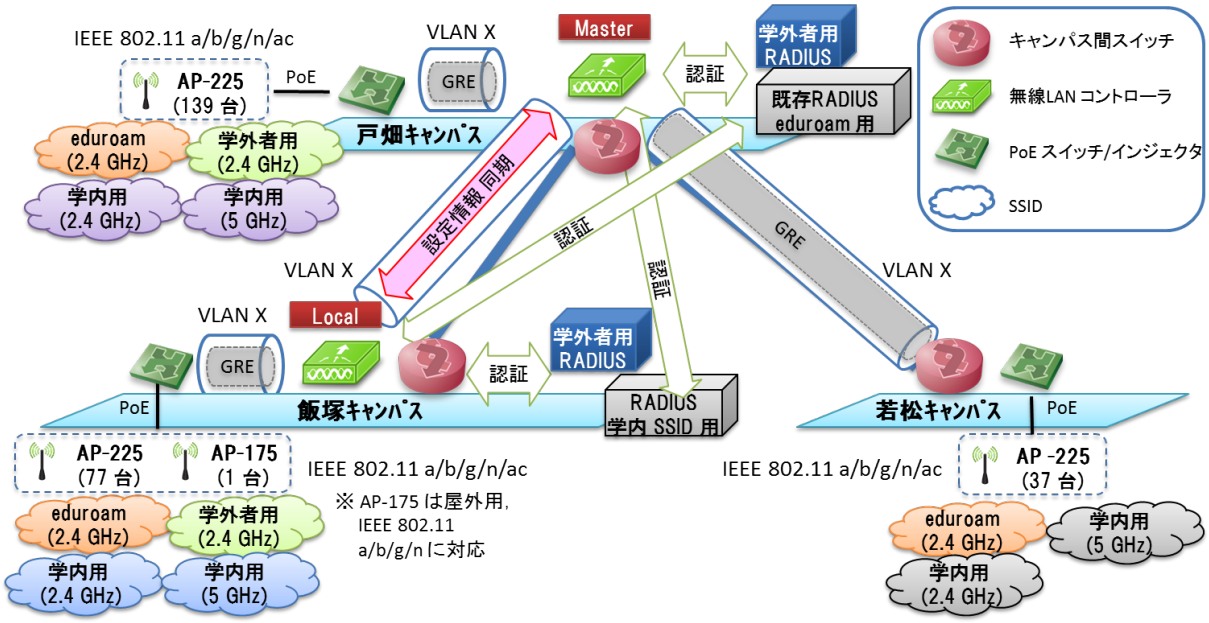

図 6: 新無線 LAN システム構成図

と 3 倍以上大きく増加していることがわかります．こうした増加の理由としては，今回の無線 LAN 更新によるエリア拡大の他，2014 年度から認証方式が IEEE 802.1X を用いた統合 ID 認証へと変更になり，無線 LAN 専用の ID/password 管理が不要となったことから利用の敷居が低くなったこと，一人当たりの同時接続数制限が無くなったこと，スマートフォンやタブレットなどの普及により一人が持つ無線 LAN 接続端末が増えたこと，などが挙げられます．

次に，接続端末数が 900 台を超えたある時間における端末種別を図 10 に示します．図 10 より，本学では iPhone/iPad ユーザが非常に多く半数を超えることが分かります．今回の更新で導入した無線 LAN 管理ソフトウェアによりこうした情報に素早くアクセスすることができるようになりました．よって今後は取得出来る情報を活用した無線 LAN の効果的な運用を行う必要があります．具体的には混雑状況からアクセスポイントの増強を検討したり，電波干渉対策等を実施する予定です．

6　まとめと今後の課題

本稿では本学での無線 LAN 更新作業について述べました．導入機材は今後 5 年間に渡る使用期間を考慮して IEEE 802.11ac 対応とし，コストの低減と耐障害性の向上のためにコントローラは 2 キャンパスに集約し冗長構成を組むことにしました．また，移行作業の際には移行後の新ネットワークアドレスを予め確保することで新旧コントローラを並行稼働させ，無線 LAN の停止を極力短くすることができました．さらに，規模の拡大に対して効率的な運営管理を行うため，無線 LAN 管理ソフトウェアを新たに導入しました．

今後の課題としては，各学科の研究室など大学の無線 LAN サービスを提供していないエリアへの拡張を検討しています．またこうした規模の拡大に併せて，大学全体としての電波管理や各研究室や個別の部署に無線 LAN をどのように提供していくかも検討を行っていく予定です．

図 7: 学外者向け無線 LAN の認証画面

参考文献

[1] IEEE : *IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systemsLocal and metropolitan area networks– Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications–Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz*, IEEE 802.11ac-2013 (2013).

[2] IEEE : *IEEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications - Data Terminal Equipment (DTE) Power Via Media Dependent Interface (MDI)*, 802.3af-2003 (2003).

[3] IEEE : *IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks–Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE 802.11-2012 (2012).

[4] eduroam : *http://www.eduroam.org*

[5] IEEE : *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Port-Based Network Access Control*, IEEE 802.1X-2010 (2010).

[6] IEEE : *IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 3: Data Terminal Equipment (DTE) Power via the Media Dependent Interface (MDI) Enhancements*, 802.3at-2009 (2009)

[7] 中村豊，福田豊，佐藤彰洋 : 九州工業大学における全学セキュア・ネットワークの導入について，情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会)，2015

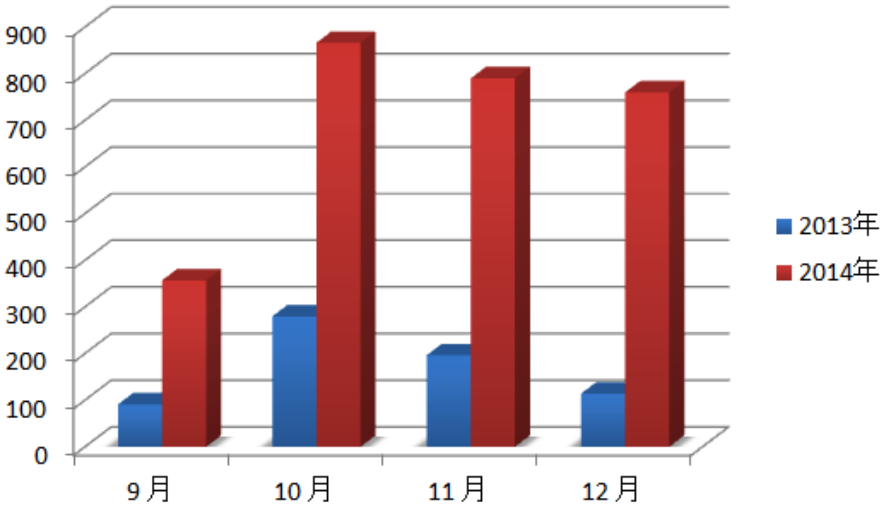

図 8: 平均利用者数 (9 月 ～ 12 月)

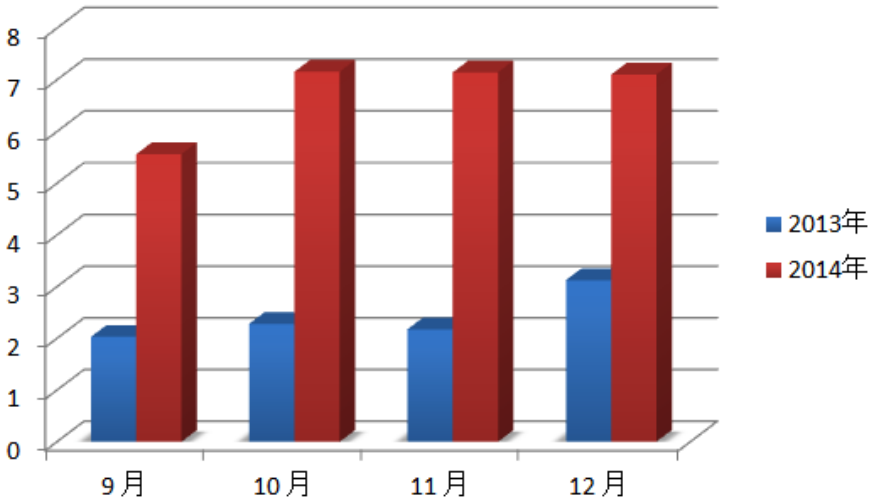

図 9: 平均利用回数 (9 月 ～ 12 月)

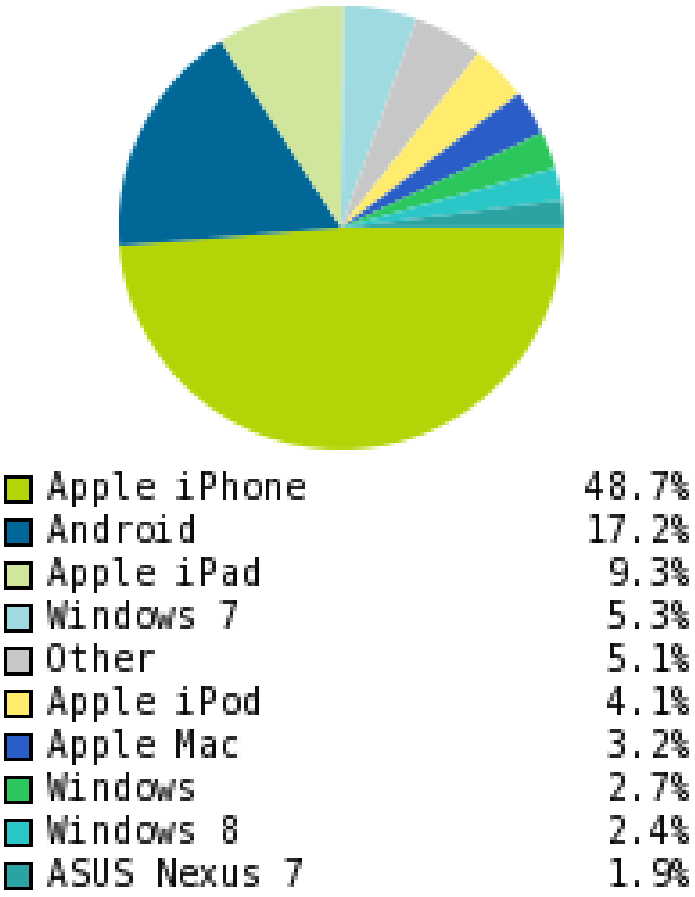
Apple iPhone 48.7%
Android 17.2%
Apple iPad 9.3%
Windows 7 5.3%
Other 5.1%
Apple iPod 4.1%
Apple Mac 3.2%
Windows 2.7%
Windows 8 2.4%
ASUS Nexus 7 1.9%

図 10: 端末種別