

キャリア Wi-Fi を導入したキャンパス無線 LAN システム

A Campus-wide Wireless LAN System in Kagoshima University Shared with Telecommunication Carriers

升屋 正人*, 下園 幸一*, 高橋 至*, 相羽 俊生*,
川原 智徳*, 古屋 保*, 小田 謙太郎*, 佐藤 豊彦*, 森 邦彦*
Masato MASUYA*, Koichi SHIMOZONO*, Itaru TAKAHASHI*, Syunsei AIBA*,
Tomonori KAWAHARA*, Tamotsu FURUYA*, Kentaro ODA*, Toyohiko SATO*,
and Kunihiko MORI*

鹿児島大学 学術情報基盤センター*
Computing and Communications Center, Kagoshima University*

無線 LAN はいまや教育に欠かせないツールであり、多くの大学で無線 LAN の整備が進められている。鹿児島大学でも、無線 LAN を搭載したノート PC、スマートフォン、タブレット等を学内で使用する学生の増加に伴い、キャンパス無線 LAN システムの高度化が喫緊の課題となっていた。そこで、キャンパス情報ネットワークの更新に合わせ、既存のさまざまな無線 LAN システムを撤去・更新し、新たにキャリア Wi-Fi を導入したキャンパス無線 LAN システムを整備した。

キーワード：無線 LAN，キャリア Wi-Fi，キャンパス情報ネットワーク

Wireless networking facilities are essential for current higher education, so that many universities have deployed the campus-wide wireless LAN system. The increase in students who use mobile devices, such as, Wi-Fi enabled mobile PCs, smartphones and tablets, has urged us to improve the wireless LAN system in Kagoshima University. Therefore, in the most recent replacement of campus information network system, we built the novel campus-wide wireless LAN system introducing telecommunication carrier's Wi-Fi services.

Keywords : Wireless LAN, carrier Wi-Fi, campus information network system

1. はじめに

無線技術の進展と普及に伴い、大学における教育と研究の様々な場面で無線 LAN が利用されるようになってきた。無線 LAN 機能を内蔵したノート PC による利用に加えて、スマートフォンやタブレットによる利用が広く行われている。

大学キャンパスの外では、さまざまな場所で公衆無線 LAN サービスが提供されている。民間の通信事業者により整備されたもののほか、観光や防災を目的として市町村により避難所等に整備されたものもある。空港や鉄道駅、飲食

店では公衆無線 LAN サービスを利用できるのが一般的である。

鹿児島大学では、2004 年より Web 認証を経てネットワークに接続できる認証付き情報コンセントを運用している。この認証付き情報コンセントに、SSID 及び暗号方式を全学で統一した無線 LAN ブリッジを接続することでキャンパス全体にわたる無線 LAN システムを実現してきた。できるだけ多くの無線 LAN ブリッジを低コストで導入するため、それぞれが独立して稼働する安価な機器を用いることとし、臨時的経費などにより随時導入を進めておおよそ 100 台を運用していた。しかし、集中管理機能が貧弱で同時遠隔設定や利用統計の取得ができず、保守契約を行っていないために障害対応が困難であった。

*〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35
1-21-35, Korimoto, Kagoshima 890-0065
E-mail: {masatom, simozono, taka, aiba, kawahara, furuya, odaken, sato, mori}@cc.kagoshima-u.ac.jp

また、主に学外者による利用を想定し、2008年に民間ISP回線を経由してインターネットに接続するFREESPOT¹⁾機器を100台導入した。用いた機器は、メールアドレスによる簡易認証の仕組みを用いてアクセスの許可を行うFREESPOT専用の無線LANアクセスポイントBUFFALO FS-G54である。しかし、認証付き情報コンセントに接続した無線LANブリッジと近接して設置した箇所もあり、限られた無線LANチャンネルの有効利用の観点から適切とは言えない運用となっていた。

一方、主に外来者の利用に供するため、キャンパス情報ネットワークとは独立した回線と設備を用いた、通信事業者による公衆無線LANサービスの導入も進めた。2005年にサービスを開始したNTT西日本による公衆無線LANサービスであるフレッツ・スポット²⁾は、鹿児島県内では鹿児島大学が最初のサービスエリアである。しかし、このサービスを利用するにはNTT西日本との契約および月額利用料が必要であり、独自の接続手順が複雑であったことから、利用はほとんどなかった。2012年には食堂など一部施設にau Wi-Fi SPOT³⁾も導入したが、au契約者に利用は限定され、また、学内のどこでも利用できる、というわけではなかった。通信事業者によるこれらのサービスは、サービス提供事業者に大学施設を貸し付け、事業者の負担により設置されたものである。本学が希望するすべての場所でのサービス提供は難しく、大学が設置する無線LANアクセスポイントと干渉が生じる場合の無線LANチャンネルの調整や変更も困難であった。

このように、鹿児島大学では、学生、教職員、外来者の無線LAN利用環境を充実させるため、さまざまな方法で整備を進めてきた。ところが、さまざまな方法が混在しているために、全体の把握が難しく運用管理が煩雑で、無線LANチャンネルの利用効率が悪く、障害対応や利用者対応が困難であった。また、当初に導入した機器から順に経年劣化が進み、故障頻度が多くなってきていた。

そこで、2015年9月のキャンパス情報ネットワークの更新⁵⁾に際し、新たにキャンパス無線LANシステムを整備することにした。整備にあたっては、臨時的経費により順次設置を進めた無線LANブリッジと、FREESPOT用の無

線LANアクセスポイントをすべて撤去・更新し、さらに、無線LANが未整備であった教室に新たに無線LANアクセスポイントを設置して、学内の全教室で無線LANを利用できるようにした。導入した無線LANアクセスポイントの総数は353台である。

また、新たなキャンパス無線LANシステムでは、これまで学内で提供されてきたWeb認証による学生・教職員向けのサービスと民間ISP回線経由でインターネットに接続する学外者向けサービスに加えて、通信事業者による公衆無線LANサービスであるキャリアWi-Fiのサービスも重畳して提供することにした。単一の無線LANシステムを用いてさまざまなサービスの提供を行うことで、無線LANチャンネルの有効利用と障害対応および利用者対応の効率化を実現した。

本論文では、キャリアWi-Fiを導入した鹿児島大学のキャンパス無線LANシステムの詳細と、これまでの利用状況を分析した結果について述べる。キャンパス無線LANシステムへのキャリアWi-Fiの導入は、広島大学⁶⁾、京都大学、金沢大学⁷⁾、東京大学、立教大学などですすでに行われている。広島大学を除き、導入方法は公表されていないが、いずれの場合も運用中のキャンパス無線LANシステムにキャリアWi-Fiを導入したものと思われる。キャリアWi-Fiの導入を前提として構築されたキャンパス無線LANシステムは鹿児島大学のほかに例はない。

2. キャンパス無線LANシステムの機器構成

鹿児島大学では、2009年9月より賃貸借によるキャンパス情報ネットワークの調達を行っている^{4),5)}。2009年9月に運用を開始した第4世代のキャンパス情報ネットワークシステム(KNIT4⁴⁾)には無線LAN装置は含んでいなかったが、2015年9月に運用を開始した第5世代のキャンパス情報ネットワークシステム(KNIT5⁵⁾)の主要なサブシステムとして、冗長化された無線LANコントローラと無線LANアクセスポイントからなる集中管理型のキャンパス無線LANシステムを導入した。

2.1 無線 LAN コントローラ

無線 LAN コントローラは、Cisco 5508 Wireless Controller を 2 台の筐体による冗長構成で導入した。当該コントローラが管理できる無線 LAN アクセスポイントは最大 500 台、管理できる無線 LAN クライアントは最大 7000 台、設定できる VLAN は最大 512 個である。運用系、待機系ともに、コントローラが有する 8 つの 1Gbps ポートをリンクアグリゲーションにより束ね、それぞれ合計帯域 8Gbps でキャンパス情報ネットワーク基幹部を構成するコアスイッチに接続している。

2.2 無線 LAN アクセスポイント

無線 LAN コントローラから遠隔制御できる無線 LAN アクセスポイントとして、最大ゲイン 6 dBi の外部アンテナを 4 本有する Cisco Aironet 2702e(AIR-CAP2702E-Q-K9) を 353 台導入した。また、電源は原則としてパワーインジェクタ (AIR-PWRINJ4=) により供給することとし、設置場所における電源工事を不要にした。

Cisco Aironet 2702e は、IEEE802.11g/n 規格 (2.4GHz 帯) および IEEE802.11a/n/ac 規格 (5GHz 帯) に準拠し、3×4 MIMO と 3 空間ストリームに対応した無線 LAN アクセスポイントである。最大物理レートは IEEE802.11n 40MHz システムで 450Mbps、IEEE802.11ac 80MHz システムで 1.3Gbps である。対応チャンネルは、2.4GHz 帯が 1～13 チャンネルの 13 チャンネル、5GHz 帯が W52(36～48 チャンネル)、W53(52～64 チャンネル)、W56(100～140 チャンネル) の計 19 チャンネルである。また、無線 LAN アクセスポイント 1 台あたり、最大 16 個の SSID に対応しており、無線 LAN コントローラに設定された VLAN との対応付けを行う機能がある。

機器の仕様上、アクセスポイント 1 台あたりのクライアント接続台数に制限は設けられていないが、コントローラの管理クライアント数の上限や DHCP による割り当て可能 IP アドレスの上限により接続可能台数が制限されることになる。管理クライアント数上限に達した場合は、コントローラを 1 式追加し、アクセスポイ

ントを 2 式のコントローラに分けて管理することで回避を図ることになる。また、DHCP による割り当て可能 IP アドレスの上限については、同じ SSID のサービスであっても設置部局ごとに別の IP アドレス空間を設けることで十分なアドレス数を確保した。接続できたとしても多数のクライアントが同時に通信を行うと通信帯域の低下など利用に支障が出ることが考えられるが、これまで多数同時接続が原因と思われる不具合は報告されていない。

2.3 無線 LAN アクセスポイントの設置場所

無線 LAN アクセスポイントの設置にあたっては、更新の対象となる、認証付き情報コンセントに接続した無線 LAN ブリッジおよび FREESPOT 用の無線 LAN アクセスポイントを取り外し、原則として同じ場所に設置した。ただし、両者が近接して設置されている場合は、いずれかの箇所のみを設置して機器台数を削減するとともに、干渉の要因を排除した。また、学内のすべての教室で無線 LAN の利用ができるよう、必要に応じて設置場所を追加した。また、附属小学校と附属中学校については、体育館を含む校内全域で無線 LAN を利用できるよう無線 LAN アクセスポイントを設置した。部局等別の設置台数は表 1 の通りである。

設置した無線 LAN アクセスポイントは 353 台であり、無線 LAN コントローラにおける無線 LAN アクセスポイントの管理上限数である 500 台までは余裕がある。このため、各部局等から追加の設置の要望があった場合は、費用を部局が負担することで追加設置を認めている。しかし、追加設置にあたっては無線 LAN アクセスポイントの購入費用のほか、無線 LAN コントローラのライセンス追加、工事費用、設定費用が必要となる。無線 LAN アクセスポイント 1 台の追加でおよそ 50 万円*が必要になることから、これまで部局による追加設置の例はないが、2017 年 3 月に更新した学術情報基盤センター電子計算機システムの一部として 2 台を追加しており、2017 年 4 月現在の運用台数は 355 台となっている。

*以前導入を進めた無線 LAN ブリッジは 1 台 5 万円以下であった。

表 1 無線 LAN アクセスポイントの部局等別の設置台数 .

設置部局等	台数
法文学部	23
教育学部	19
附属幼稚園	1
附属小学校	21
附属中学校	18
附属特別支援学校	7
理学部	14
工学部	35
稲盛会館	3
農学部	18
水産学部	36
医学部及び附属病院	53
霧島リハビリテーションセンター	1
歯学部	14
共通教育棟	39
附属図書館中央館	16
桜ヶ丘分館	5
水産学部分館	2
学術情報基盤センター	6
大学本部	11
福利厚生施設等	7
産学官連携推進機構棟	3
外国人研究者宿泊施設	1
計	353

3. キャンパス無線 LAN システムで提供しているサービス

SSID は無線 LAN ネットワークにおける識別子であり、無線 LAN クライアントは接続する無線 LAN ネットワークを SSID により選択する。VLAN と SSID の関連付け機能を利用して 1 台の無線 LAN アクセスポイントに複数の SSID を設定することで、無線 LAN クライアントがさまざまなネットワークを選択してアクセスできるようになる。つまり、SSID を選択することでサービスを選択できることになる。

Cisco Aironet 2702e は 1 台あたり 16 個までの SSID を設定できる。この機能を活用し、複数の無線 LAN アクセスポイントで提供していたサービスを 1 台の無線 LAN アクセスポイントに集約して提供するとともに、学生・教職員の利便性向上のため、新たなサービスも導入した。

キャンパス情報ネットワークとしてのサービスと、キャリア Wi-Fi のサービスに分け、それぞれについて提供しているサービスを以下に述

べる。

なお、キャンパス無線 LAN システムでは、SSID ごとに各種無線 LAN パラメータの設定ができる。無線チャンネルの有効活用を図るため、すべての SSID においてチャンネル幅は 20MHz とした。最大物理レートは IEEE802.11n で 216.7Mbps、IEEE802.11ac で 288.9Mbps となる。また、5GHz 帯のチャンネルは、航空気象レーダーの電波を検知することによる停波が起きない W52 (38 ~ 48 チャンネル) のみ使用した。2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方に対応しているサービスでは、2.4GHz 帯の混雑緩和のため、5GHz 帯に優先的に接続する設定を行っている。無線 LAN クライアント間通信は原則として遮断する設定とした。

3.1 キャンパス情報ネットワークのサービス

キャンパス無線 LAN システムでは、鹿児島大学が運用管理するキャンパス情報ネットワークのサービスとして、Web 認証によるオープンネット (KNIT5-OPEN)、教職員向けのスタッフネット (KNIT5-STAFF)、外来者向けのゲストネット (KNIT5-GUEST)、部局 Wi-Fi (SSID は部局ごとに異なる)、そして eduroam (SSID は eduroam) のサービスを提供している (表 2)。

3.1.1 オープンネット (KNIT5-OPEN)

Web 認証は、Web ブラウザの画面に ID とパスワードを入力して認証を行う仕組みである。ID とパスワードがあらかじめ登録されたものに一致した場合に、ネットワークへのアクセスが可能になる。ログイン画面用の URL を指定しなくても、任意のサイトを閲覧しようとすると自動的にログイン画面にリダイレクトされる。

鹿児島大学では 2004 年から Web 認証を行う仕組みをキャンパス情報ネットワークに導入しており、有線、無線に関わらず、これをオープンネットと呼んでいる。KNIT5 では、ファイアウォール装置 Fortinet FortiGate 1500D の captive portal 機能を用いて Web 認証を実現した。ログイン画面を図 1 に示す。

表 2 キャンパス無線 LAN システムで提供されているキャンパス情報ネットワークのサービス。表中の「認証」は無線 LAN 接続後にネットワークに接続するための Web 認証，VPN 認証，または，IEEE802.1X 認証を指す。なお，暗号方式として TKIP を設定する場合，鍵の更新間隔を短くすることで脆弱性の影響を受けないようにした。

サービス名	SSID	暗号方式	規格	登録	認証	制限
オープンネット	KNIT5-OPEN	WPA-PSK(TKIP) WPA2-PSK(AES)	g/n a/n/ac	不要	あり	鹿児島大学 ID が必要 (在籍者は利用可)
スタッフネット	KNIT5-STAFF	WPA2-PSK(AES)	g/n a/n/ac	必要	なし	教職員を利用者として 登録されたホストのみ
ゲストネット	KNIT5-GUEST	なし	g/n	不要	なし	Web フィルタリング
部局 Wi-Fi	部局ごと	WPA2-PSK(AES)	g/n a/n/ac	不要	なし	部局ごと
eduroam	eduroam	WPA2-EAP(AES)	g/n a/n/ac	不要	あり	eduroam 参加機関限定



図 1 オープンネットの認証画面。ロゴをカスタマイズしている。Username: の欄に鹿児島大学 ID を入力することになる。

認証に用いている ID は，全学生に対して発行している ID (鹿児島大学 ID) で，履修登録，PC 教室利用，Moodle，生涯メール等，学生がアクセスする全学的なシステムのほとんどで使用されている共通の ID である。鹿児島大学 ID は，学生のほか教職員に対しても発行されており，教職員のみを対象としたサービスもある。オープンネットは学生，教職員ともに利用できるサービスとしている。

また，オープンネットでは，KNIT5 に含まれる L2TP/IPsec VPN 装置により提供されている VPN サービスを利用する場合に，Web 認証を迂回することができる。VPN サービスは鹿児島大学 ID を持つ学生・教職員であれば利用できる。このため，スマートフォンなどでは

VPN 設定を事前に行うことで接続時の ID 及びパスワードの入力を省くことができるほか，無線 LAN 区間の機密性を高めることができる。この方法は，利用者には「VPN 認証」として広報している。

なお，オープンネットは，学内のほかのネットワークとは異なるプライベートアドレス空間を使用しており，外部との通信に際してグローバルネットワーク内のグローバル IP アドレスにアドレス変換される。グローバルネットワークに接続した無線 LAN ルータ配下の LAN と同等の位置づけとなっており，プライベート IP アドレスを利用するプライベートネットワークへのアクセスはできない (図 2)。

3.1.2 スタッフネット (KNIT5-STAFF)

外部からの直接のアクセスができないプライベートネットワークには，教職員が利用する PC，プリンタ，ファイルサーバ等が多く設置されている。授業を担当する教員が，教室からこれらの機器にアクセスできれば便利である。ところが，オープンネットからはアクセスできない (図 2)。そのため，プライベートネットワークに含まれるプライベート IP アドレスを動的に割り当てるスタッフネットを新たに設けた。あらかじめ登録したホストであれば，公開されている SSID と，教職員にのみ通知される WPA2-PSK パスフレーズを機器に設定するだけで，学内のさまざまな場所から無線 LAN に

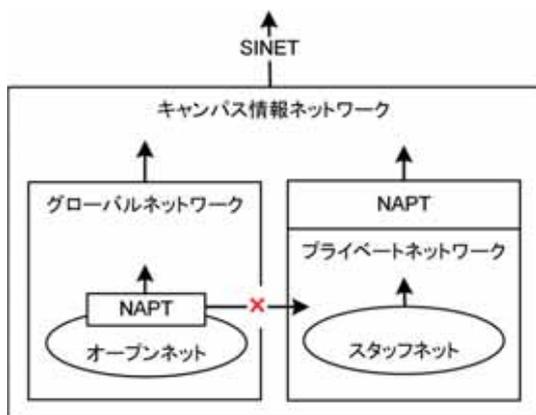


図 2 オープンネットとスタッフネットの論理ネットワーク概念図．オープンネットは独自プライベートアドレス空間を持ち，オープンネット外との接続に際して NAPT 変換される．オープンネットからはプライベートネットワーク内にアクセスできない．スタッフネットはプライベートネットワーク内のアドレスを利用し，プライベートネットワーク外に接続する場合に NAPT 変換される．

よりプライベートネットワークに接続できる．Web 認証や VPN 認証は行われない．したがってスタッフネットは，キャンパス無線 LAN システムで提供されているサービスの中で教職員にとって最も利便性が高いサービスである．

スタッフネットに接続する機器はすべて登録制とし，登録できるのは教職員のみとしている．これは，有線接続のプライベートネットワークに機器を接続する場合の手順と同じである．ただし，プライベートネットワークでは部局単位にホストの登録や承認が行われている．スタッフネットは学術情報基盤センターが管理するプライベートネットワークであるため，制度上は部局への申請とは別に学術情報基盤センターへの申請が必要となってしまう．これでは煩雑なので，各部局でプライベートネットワークへの接続を承認されたホストを学術情報基盤センターが追承認することとし，各部局におけるホスト登録のみでスタッフネットに対応している学内のすべての無線 LAN アクセスポイントを利用できるようにした．

3.1.3 ゲストネット (KNIT5-GUEST)

学内で開催される学会や研究会に際して，外来者に無線 LAN を使用させることは多くの大学で行われている．さまざまな方法があるが，例えば，認証付き無線 LAN を運用している大学において接続用の ID を参加者の数だけ用意したり，学会等の期間のみ有効な SSID と WEP キー・WPA パスフレーズを準備して掲出するという方法がとられることがある．また，eduroam⁸⁾ 参加機関であればその仕組みを用いて接続させることができる．鹿児島大学でも 2017 年 3 月より eduroam に参加するとともに，キャンパス無線 LAN システムで eduroam のサービスを提供している．ただし，すべての大学が eduroam に参加しているわけではないため，eduroam 未参加機関からの参加者に無線 LAN を使用させる場合はほかの方法が必要である．

鹿児島大学においても，臨時の ID を配布してオープンネットに接続させる方法，および，学会の期間中のみ有効な無線 LAN ネットワークを準備する方法の双方を行ってきた．しかし，いずれも運用管理を行う学術情報基盤センター教職員の負担が大きい．接続方法の説明や障害発生時の対応のため，学会等の事務局に常駐することを求められたこともある．こうした運用管理の負担を軽減する一方で，外来者の無線 LAN 環境を充実させるため，2008 年に FREESPOT を導入した．

新キャンパス無線 LAN システムでは，主に学外者を対象としたこのサービスも新たに設置する機器により提供することとし，FREESPOT 機器をすべて撤去して Cisco Aironet 2702e に更新した．ただし，オープンネットに接続していた無線 LAN ブリッジに近接した場所にあったものについては，無線 LAN エリアが重複することになるため，撤去のみを行っている．

新しい外来者向けサービスについては，機器を廃止するため FREESPOT と同様の仕組みは使用できない．このため，空港などで行われているサービスを参考に，鹿児島大学独自の公衆無線 LAN サービスであるゲストネットを開始することにした．

ゲストネットの SSID を選択して接続すると，Web ブラウザに以下の同意項目が表示される．

- サービスへの接続状況は記録されます
- 通信速度及び通信の確実性は保証しません
- 接続方法に関する問い合わせには応じません
- 予告なくサービスを中断する場合があります
- 利用により利用者及び第三者が損害を被った場合でも一切の責任を負いかねます
- 無線区間の暗号化は行われていませんので、通信内容の機密性保持対策は利用者が行ってください
- 不正アクセス、迷惑メール、ファイル交換、著作権ほか他人の権利の侵害行為、公序良俗に反する行為、その他法令に違反する行為は禁止します。これらが発覚した場合、通信の遮断のほか公的機関等に通報する場合があります

利用者はこれらの要件を承認できる場合に限り、Accept ボタンをクリックまたはタップして接続ができる。外来者は事前の登録なく、ゲストネットにより、すべての教室をはじめとした多くの場所で無線 LAN によるインターネット接続ができる。キャンパス無線 LAN システムでこのサービスを開始してから、学会等での無線 LAN 接続サービス提供に関する依頼はほとんど無くなった。

ゲストネットでは、接続機器の MAC アドレスを保存することで各種インシデントに備えているほか、KNIT5 のファイアウォール装置である Fortinet FortiGate 1500D の Web フィルタリング機能によりゲームサイト、マルウェア配布サイトや不適切なサイトへのアクセスを遮断し、すべての通信を記録している。インターネット接続回線としては SINET ではなく、民間 ISP の回線を用い、キャンパス情報ネットワーク内は独立した VLAN を利用している。現在のところ、SMS による電話番号認証などの厳格な本人登録の仕組みは適用していないが、セキュリティと利便性、そしてコストのバランスを取る最善の方法を検討中であり、認証の方法については間もなく変更する予定である。

3.1.4 部局 Wi-Fi

キャンパス無線 LAN システムでは、全体で最大 512 個の VLAN を設定でき、各無線 LAN アクセスポイントでは最大 16 個の SSID が設

定できる。この上限は学科単位や研究室単位の VLAN や SSID を設定するには十分な数ではないが、各部局に数個程度までであれば部局独自の無線ネットワークの運用が可能である。このことから、部局独自の運用を行う部局 Wi-Fi を導入することにした。

部局 Wi-Fi の SSID は、部局内に設置されている無線 LAN アクセスポイントに限定して設定する。部局 Wi-Fi は、部局独自の SSID、パスフレーズにより、部局独自の VLAN に接続できるようにしたものであり、外来者はもちろん、当該部局以外の学生・教職員にも使用させないことが前提である。パスフレーズは部局内でも関係する教職員にのみ通知される。学術情報基盤センターで試験的に運用しているほか、設定の要望があった教育学部の附属学校など一部の部局で運用している。

3.2 キャリア Wi-Fi のサービス

主要携帯電話事業者（NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンク）の公衆無線 LAN サービスは、一般にキャリア Wi-Fi と呼ばれている。携帯電話事業者にとってキャリア Wi-Fi は、スマートフォンの普及によりトラフィックが急増した 3G 網及び LTE 網を補完するもので、携帯電話網の混雑を緩和する役割を担っている。スマートフォンは無線 LAN 機能を標準で搭載しており、キャリア Wi-Fi のエリアに入ると、自動的に無線 LAN 接続するようになっている場合が多い。キャリア Wi-Fi を利用するには料金が必要であるが、多くのスマートフォン利用者が加入している定額制のパケット料金プランの無料オプションとなっていることが多く、実質的に無料で利用できる。

キャリア Wi-Fi は、利用者にとってはパケット通信量の上限が適用されずに使用できるという利点がある。大学では学生の大半がスマートフォンを保有している。キャリア Wi-Fi を学内で利用できればそのメリットは大きい。

キャリア Wi-Fi の無線 LAN アクセスポイントを事業者に設置させることで、大学内にキャリア Wi-Fi を導入する取り組みは早稲田大学などいくつかの大学で行われている。鹿児島大学でも、2012 年に事業者による au Wi-Fi SPOT のサービスを導入した。しかし、事業者に機器

を整備させるこの方法では、大学が設置する無線 LAN 機器と相互に干渉して双方とも十分な帯域を確保できない場合がある。複数の事業者のキャリア Wi-Fi を導入するとその影響はより大きくなってしまふ。また、導入経費及び維持経費は事業者の負担となり、設置台数や設置場所は事業者の意向により決定されるため、大学が希望するすべての箇所に設置されるとは限らない。

一方、広島大学⁶⁾ や京都大学などでは、事業者が整備するのではなく、通信事業者にキャンパス無線 LAN システムを利用させてサービスを提供する取り組みが行われている。広島大学では 2012 年から、京都大学では 2015 年から、キャンパス無線 LAN システムを用いたキャリア Wi-Fi のサービスが提供されている。この方法であれば、大学が設置する機器と事業者が設置する機器の干渉は生じず、事業者の費用負担も大きくない。また、大学が希望するすべての箇所でキャリア Wi-Fi のサービスが提供可能である。

そこで、鹿児島大学においても、2015 年 9 月に稼働を開始する KNIT5 において、キャンパス無線 LAN システムを事業者を利用してキャリア Wi-Fi のサービスを提供することし、キャンパス情報ネットワークシステムの調達に際して、以下を必須の要求要件として求めた。

- docomo Wi-Fi, au Wi-Fi, ソフトバンク Wi-Fi スポットサービスをすべての無線 LAN アクセスポイントにおいて提供すること。

各通信事業者との交渉とネットワーク機器の設計及び設定は原則としてキャンパス情報ネットワークシステムの納入業者に委ねた。これは、本学教職員が主導して設定等を実施してしまうと、保守に際して業者のみでは対応できない場合が想定されたためである。また、サービスの導入にあたっては、鹿児島大学とそれぞれの通信事業者の間で「無線 LAN 設備の使用にかかる契約書」を交わし、責任の範囲や双方が遵守すべき条件について定めたが、鹿児島大学側に費用負担は発生していない。

主要携帯電話事業者 3 社の公衆無線 LAN サービスは、必ずしも携帯電話事業者が直接提供しているとは限らない。docomo Wi-Fi について

は NTT ブロードバンド・プラットホームと、au Wi-Fi についてはワイヤ・アンド・ワイヤレスと、ソフトバンク Wi-Fi スポットサービスについてはソフトバンクとそれぞれ契約を交わした。これら 3 社は、自社と結ぶ回線を鹿児島大学学術情報基盤センター内に準備し、回線の終端装置をキャンパス情報ネットワーク基幹機器ラック内に設置している。各社の装置とキャンパス情報ネットワークは LAN ケーブルで物理的に接続しているが、それぞれ独立した VLAN を設定することで、キャンパス情報ネットワークとは論理的に分離した。各キャリア Wi-Fi の VLAN は無線 LAN コントローラまで延長され、それぞれの SSID と関連付けられてすべての無線 LAN アクセスポイントにおいてキャリア Wi-Fi のサービスを提供している。

キャンパス無線 LAN システムで提供されているキャリア Wi-Fi のサービスを表 3 に示す。鹿児島大学では、3 つの主要携帯電話事業者の公衆無線 LAN サービスに対応した、7 つの SSID によるキャリア Wi-Fi サービスを提供していることになる。NTT ドコモに対応したものが、docomo Wi-Fi, KDDI に対応したものが、Wi² 300, ソフトバンクに対応したものが、ソフトバンク Wi-Fi スポットである。

3.2.1 docomo Wi-Fi (0000docomo, 0001docomo)

docomo Wi-Fi は、NTT ドコモが提供する公衆無線 LAN サービスである。月額使用料は 300 円であるが、加入するパケット定額サービスによっては、永年無料キャンペーンの対象となるため、ドコモのスマートフォン利用者の多くが実質無料で利用できる。ドコモの携帯電話回線契約がない場合でも月額料金を支払うことで利用できる。

スマートフォンやタブレット (Android, iOS) のほか、Windows や Mac OS X でも利用できる。SSID として 0000docomo と 0001docomo があるが、前者は Web や専用アプリケーションでの認証が必要なネットワーク、後者は SIM 認証に対応したネットワークに接続できる SSID である。新しいスマートフォンを利用してい

表3 キャンパス無線 LAN システムで提供されているキャリア Wi-Fi のサービス .

キャリア名	SSID	暗号化	規格	サービス対象
NTT ドコモ	0000docomo	WPA2-PSK(AES)	g/n a/n/ac	docomo Wi-Fi 契約者
	0001docomo	WPA2-EAP(AES)	g/n a/n/ac	
KDDI	Wi2	なし	g/n	Wi ² 300・au Wi-Fi SPOT 等 契約者
	Wi2_club	WPA2-PSK(AES)	g/n	
ソフトバンク	0001softbank	なし	g/n	Wi-Fi スポット契約者
	SWS1day	なし	g/n	Wi-Fi スポット (EX) 契約者
	.FREE_Wi-Fi_PASSPORT	なし	g/n	電話番号を登録した外国人

るばあいは、後者のネットワークに自動接続できる。

3.2.2 Wi²300 (Wi2, Wi2_club)

Wi² 300 は、KDDI のグループ会社であるワイヤ・アンド・ワイヤレスが提供する公衆無線 LAN サービスである。月額 362 円のサービスであるが、さまざまなサービスに無料オプションとして付帯している。au が提供する公衆無線 LAN サービスである au Wi-Fi SPOT の契約者は、Wi² 300 のサービスも利用できる。KDDI 契約者の多くは au Wi-Fi SPOT を無料で利用できるため、Wi² 300 サービスを提供することは、KDDI 契約者に公衆無線 LAN サービスを提供することと同義となる。

キャンパス無線 LAN システムでは、Wi² 300 のサービスとして、Wi2 と Wi2_club の 2 つの SSID によるサービスを提供している。前者は暗号化なし、後者は WPA2-PSK(AES) で暗号化されている。どちらを利用するかは利用者の判断となる。これら 2 つの SSID は NTT 西日本のフレッツ・スポット契約者もローミングにより利用できるものとなっている。KDDI の au スマートフォンで自動接続できるほか、Windows や Mac OS X での利用も可能である。

3.2.3 ソフトバンク Wi-Fi スポット (0001softbank, SWS1day, .FREE_Wi-Fi_PASSPORT)

ソフトバンク Wi-Fi スポットは、ソフトバンクモバイルが提供する公衆無線 LAN サービス

である。サービス契約者はソフトバンク Wi-Fi スポットのほか、BB モバイルポイントのサービスも利用できる。月額 467 円のサービスであるが、ソフトバンクのフラット型パケット定額サービス加入者であれば無料で利用できるため、スマートフォン利用者の多くが無料で利用できる。キャンパス無線 LAN システムでソフトバンク Wi-Fi スポットのサービスとして提供している SSID は 0001softbank である。無線 LAN 区間は暗号化されないため、重要な通信は SSL や VPN を利用する必要がある。

ソフトバンク Wi-Fi スポットのサービスとして、ソフトバンク Wi-Fi スポット (EX) 契約者用の SSID である SWS1day によるサービスも提供している。これは 24 時間で 467 円の一時的な利用者向けのサービスである。また、訪日外国人向けのサービスである .FREE_Wi-Fi_PASSPORT を SSID とするサービスも提供している。こちらは、海外の携帯電話事業者で契約した携帯電話から指定の番号に電話をし、パスワードを確認することで無料で利用できるサービスである。

4. 利用状況

新たなキャンパス無線 LAN システムでは、無線 LAN コントローラにより集中管理ができ、各種の統計情報も取得できる。Cisco Prime Infrastructure を用いて利用状況を取得し、分析した結果を以下に述べる。なお、キャリア Wi-Fi については、各事業者との契約上、個別の値を公表することはできない。このため、全体からキャンパス情報ネットワークのサービスを減

じて求めたキャリア Wi-Fi サービス全体の値のみについて分析の対象とした。

4.1 月間最多接続台数の推移

キャンパス無線 LAN システムが稼働を開始した 2015 年 8 月から 2017 年 1 月までの、月ごとの無線 LAN クライアントの最多接続台数の推移を図 3 に示す。一ヶ月の間で最も多く無線 LAN クライアントが接続した日の接続台数を各月を代表する値とした。

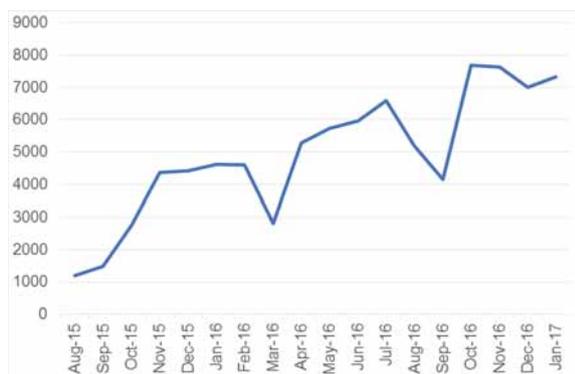


図 3 キャンパス無線 LAN システムに接続した無線 LAN クライアントの月別の最多接続台数の推移。

前期と後期の間で授業が行われない春休みと夏休みに接続台数が減る傾向にある。しかし、稼働以来、接続する無線 LAN クライアントは増加傾向にあり、今後も台数が増加すると考えられる。一日に最も多くの無線 LAN クライアントが接続した日は 2016 年 10 月 11 日（火）で、台数は 7,688 台であった。

4.2 最大同時接続台数の推移

キャンパス無線 LAN システムの性能に影響を与えるのは、一日の接続台数ではなく、同時に接続している無線 LAN クライアントの台数である。これが大きくなり過ぎると十分なスループットが得られなかったり、無線 LAN アクセスポイントに接続できなくなるといった問題が生じる。キャンパス無線 LAN システムにおいて最大同時接続台数は、無線 LAN コントローラで管理できる無線 LAN クライアントの最大数である 7,000 以下である必要がある。これを超えている場合や超えそうな場合は、無線

LAN コントローラをより上位の機種に更新するなどを検討しなければならない。

そこで、最大同時接続台数を調べた。2016 年一年間の週別ごとの無線 LAN クライアントの最大同時接続台数の推移を図 4 に示す。

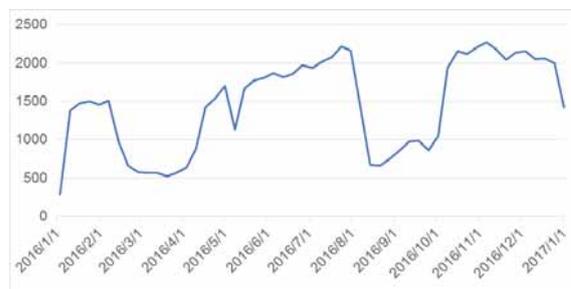


図 4 2016 年の無線 LAN クライアントの週別の最大同時接続台数の推移。月曜～日曜までを 1 週間とした。

大学が休暇となる、冬休み、春休み、ゴールデンウィーク、夏休みに最大同時接続台数の減少が見られる。これは図 3 と同様の傾向である。

2016 年度前期はゴールデンウィーク期間を除き接続台数が増加している。一方、2016 年度後期である 10 月から 12 月にかけては、わずかに減少の傾向が見られた。このことから、キャンパス無線 LAN システムの最大同時接続無線 LAN クライアント台数は 2015 年度後期から 2016 年度前期にかけて増加し、2016 年度後期には定常化していると言える。

授業の回数を経るごとに出席者が減少する一般的な授業の傾向を鑑みると、後期のわずかに減少する傾向は登校する学生の減少を反映しているとも考えられる。最大同時接続台数が最大となったのは、11 月第 1 週の 2,269 台であった。

一日の接続台数のデータと合わせて考えると、キャンパス無線 LAN システムは、最大で一日およそ 7,500 台の無線 LAN クライアントが利用し、ピーク時間帯にはその 3 分の 1 にあたるおよそ 2,500 台が同時に接続している。システムを利用する無線 LAN クライアント数は引き続き増加の傾向にあるが、同時に接続する台数は定常状態に達しているとも考えられる。最大同時接続台数は管理上限の 7,000 台までに十分に余裕があり、鹿児島大学の規模において現在のシステムの性能は十分なものであると言える。

4.3 無線 LAN クライアントのプロトコル

キャンパス無線 LAN システムの各サービスでは、学内者の接続環境をよりよいものとするため、学内者を対象としたサービスについて、5GHz 帯でも利用できるようにしている。キャリア Wi-Fi については、学内の利用者が多いことが想定される NTT ドコモに対応したサービスについてのみ 5GHz 帯でも利用できるようにした。しかし、5GHz 帯で接続する無線 LAN クライアントが少なければ、2.4GHz 帯の混雑の緩和のため、ほかのサービスも 5GHz 帯に対応させた方がよい。そこで、プロトコル別の接続台数を調べた。2015 年 8 月から 2017 年 1 月までの、月ごとの無線 LAN クライアントのプロトコル別の最多接続台数の割合の推移を図 5 に示す。

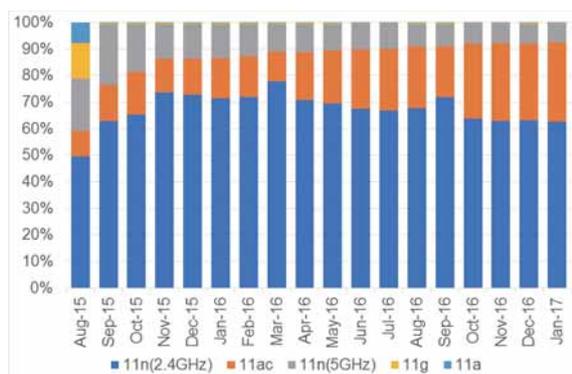


図 5 無線 LAN クライアントのプロトコル別の最多接続台数割合の推移。

稼働開始からこれまで、IEEE802.11n(2.4GHz 帯) プロトコルで接続しているクライアントが大半を占めている。最近では、次いで 5GHz 帯の IEEE802.11ac プロトコル、IEEE802.11n(5GHz 帯) プロトコルであるが、2015 年 8 月から 11 月までは、5GHz 帯の IEEE802.11ac プロトコルより 5GHz 帯の IEEE802.11n プロトコルの方が台数が多かった。IEEE802.11ac に対応したスマートフォンやノート PC が増加していることを反映しているものと思われる。5GHz 帯を合計した割合も増加傾向にある。

2017 年 1 月の無線 LAN クライアントのプロトコル分布を見ると、2.4GHz 帯の IEEE802.11n が 62.7%、IEEE802.11ac が 29.8%、5GHz 帯の IEEE802.11n が 7.1%、IEEE802.11g が 0.26%、

IEEE802.11a が 0.12% となった。およそ 3 分の 1 の無線 LAN クライアントが 5GHz 帯を利用していることになる。5GHz 帯に対応した無線 LAN クライアントが増加傾向にあることから、現在の学内者向けサービスで 5GHz 帯を利用できるようにする設定について、継続することが有効であると考えられる。

なお、図 5 を見ると、キャンパスに学生が少なくなる時期である 3 月と 9 月に、IEEE802.11ac プロトコルの割合のみが低下している。これは、学生が保有するスマートフォンの多くが IEEE802.11ac プロトコルに対応した新しい機器であるためと考えられる。

4.4 サービスごとの接続台数の変化

サービスごとの月別最多接続台数の推移を図 6 に示す。キャリア Wi-Fi と部局 Wi-Fi は合計のみを示す。

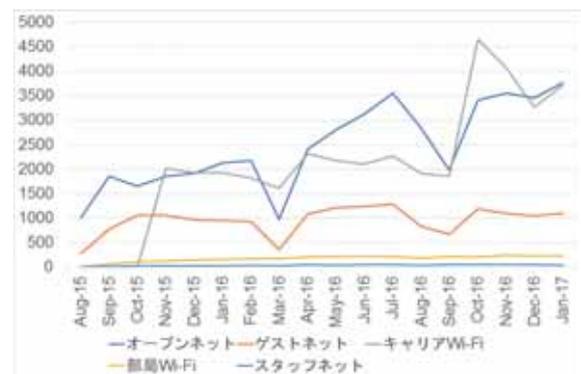


図 6 キャンパス無線 LAN システムに接続した無線 LAN クライアントのサービスごとの月別の最多接続台数の推移。

オープンネットは全体の傾向(図 3)と同じく、増加傾向にある。これに対して、ゲストネットは春休みと夏休みに減少しているほかは、ほぼ一定である。これに対して、キャリア Wi-Fi は大きく増加しており、最近ではオープンネットより接続台数が多いときもある。

しかし、キャリア Wi-Fi にはスマートフォンなどが自動的に接続されている可能性がある。このため、通信の有無でサービスの利用状況を評価するため、2017 年 1 月のサービスごとの通信量を調べた。結果を図 7 に示す。

オープンネットが全トラフィックの 69% を占めている一方で、キャリア Wi-Fi のトラフィッ

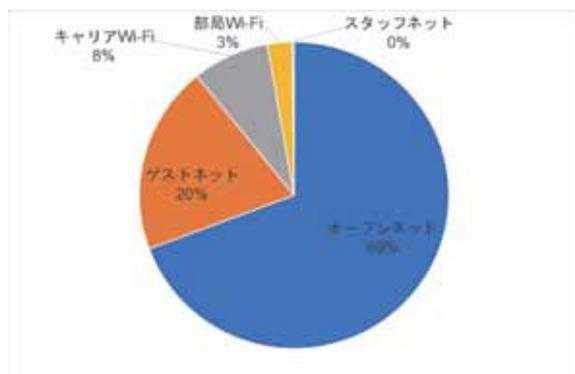


図 7 2017 年 1 月のサービスごとのトラフィックの割合。

クは相対的に小さい。それぞれに接続している台数がほぼ同じである一方で、トラフィックには大きな差があることから、キャリア Wi-Fi に接続している無線 LAN クライアントの多くは接続しているだけで通信を行っていないことがわかる。やはり、多くが自動接続によるものであると考えられる。

一方、ゲストネットのトラフィックは 20% を占めている。1 台あたりの通信量を求めるとオープンネットと同等である。春休みと夏休みの接続台数の減少傾向から見ても、主に学生による利用であると考えられる。ID とパスワードの入力の手間を惜しむ学生である可能性が高い。ただ、全体の接続台数が増えているにも関わらず、ゲストネットの接続台数は変化が小さい。しかし、これから増加する可能性もあるため、ゲストネットの分析には、さらに長期のデータの蓄積が必要である。

なお、利便性が高いはずのスタッフネットの利用は少ない。これは広報が十分でなく、学内の教職員に広く認知されるに至っていないためと思われる。また、研究室や居室の中でだけ接続できればよい場合、教員個人により無線 LAN アクセスポイントがすでに設置されていることが多く、スタッフネットを利用する必要が生じないことも理由の一つと考えられる。

5. まとめ

鹿児島大学では、2004 年からキャンパス無線 LAN に取り組んでいたが、集中管理型のキャンパス無線 LAN システムは導入できていなかった。2015 年 9 月から運用を開始したキャンパ

ス情報ネットワークの一部として導入した新たなキャンパス無線 LAN システムにおいて、学内の全教室での利用を可能とし、既存機器で行っていたサービスに加えて、通信事業者によるキャリア Wi-Fi のサービスも併せて提供することにした。キャリア Wi-Fi の導入を前提としてキャンパス無線 LAN システムを構築した例は鹿児島大学以外に知られていない。

新しいキャンパス無線 LAN システムの運用開始とほぼ同時にキャリア Wi-Fi のサービスを提供しているため、キャリア Wi-Fi 導入の効果は見出しにくい。毎日数千台の機器がキャリア Wi-Fi に接続しており、学生及び教職員のパケット通信量上限回避の一助となっていることは確実と思われる。

ほとんどの大学でキャンパス無線 LAN システムが導入されている。一方で、キャリア Wi-Fi を導入している大学は存在しているものの、多くはなく、キャンパス無線 LAN システムに相乗りしている例はさらにその中の一部に止まる。無線 LAN コントローラにより管理できる無線 LAN システムであれば、技術的にはキャリア Wi-Fi の導入は容易である。鹿児島大学では、通信事業者と「無線 LAN 設備の使用にかかる契約書」を交わし、双方の責任を明確化した上でキャリア Wi-Fi サービスを導入した。

キャンパス無線 LAN システムへのキャリア Wi-Fi の導入は、大学と携帯電話事業者、双方にとってメリットが大きい。大学にとっては、学生及び教職員のスマートフォンのパケット通信量の制限外での接続ができるほか、外来者に対して無線 LAN によるインターネット接続の手段を増やすことにつながる。携帯電話事業者にとっては、携帯電話網の混雑を緩和できるほか、公衆無線 LAN サービスエリアをコストをかけずに拡大できることになる。同一システムを利用してサービスを提供することで、無線 LAN 機器同士の干渉も発生しない。

新しいキャンパス無線 LAN システムではさまざまな統計データの取得が可能である。本論文でも分析と検討をいくつか行ったが、よりさまざまな観点からデータの分析を行い、表面化した問題点を解消しつつ、利用者が多いオープンネットへの IEEE802.1X の導入など、キャンパス無線 LAN システムのさらなる利便性の向上に努めたい。

謝辞

鹿児島大学の第5世代のキャンパス情報ネットワークシステム (KNIT5) の納入業者として、キャンパス無線 LAN システムへのキャリア Wi-Fi の導入に協力いただいた、ネットワークシステムズの諸氏に感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) FREESPOT 協議会: FREESPOT・公衆無線 LAN サービス, <http://www.freepot.com>(参照 2017-02-17).
- (2) NTT 西日本: フレッツ・スポット (公衆無線 LAN アクセスサービス), <http://flets-w.com/spot/> (参照 2017-02-17).
- (3) KDDI: au Wi-Fi SPOT, <https://www.au.com/mobile/service/smartphone/wifi/wifi-spot/> (参照 2017-02-17).
- (4) 山之上卓: 鹿児島大学の新しいキャンパスネットワークの特徴, 鹿児島大学学術情報基盤センター「年報」, No. 5, pp. 40-43 (2009).
- (5) 升屋正人, 下園幸一, 高橋至, 相羽俊生, 古屋保, 小田謙太郎, 森邦彦: 教育支援機能を強化したキャンパス情報ネットワークの構築, 大学情報システム環境研究, Vol. 19, pp. 45-54 (2016).
- (6) 大東俊博, 吉田朋彦, 岩田則和, 西村浩二, 田島浩一, 近堂徹, 岸場清悟, 相原玲二: 広島大学におけるキャンパス無線 LAN システム~キャリア Wi-Fi との共同利用と可搬型アクセスポイントの導入~, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-IOT-26, No. 7, pp. 1-7 (2014).
- (7) 大野浩之, 井町智彦, 北口善明: KAINS のこれまでとこれから, 金沢大学総合メディア基板センター COM.CLUB 広報, Vol. 35, pp. 4-7 (2015).
- (8) 国立情報学研究所: eduroam JP, <https://www.eduroam.jp> (参照 2017-02-17).

著者略歴



升屋 正人 1991年
東京大学理学部卒業,
1996年同大学院農学生
命科学研究科博士課程
修了,同年4月岡崎国立
共同研究機構分子科学
研究所非常勤研究員,
1997年11月鹿児島大
学工学部情報工学科助手,
2000年4月同大学
総合情報処理センター
助教授,2003年4月同
大学学術情報基盤セン
ター助教授,2006年11
月同教授・博士(農学)。

(著者多数のため以降略)

(2017年01月12日原稿受付)
(2017年04月26日採録決定)