

デジタル時代の教育・研究を支える基盤としての eduroam と次世代ホットスポット

後藤英昭¹⁾, 中村素典²⁾, 曾根秀昭¹⁾

1) 東北大学サイバーサイエンスセンター

2) 国立情報学研究所

hgot@cc.tohoku.ac.jp

eduroam and the Next Generation Hotspot as the Infrastructure for the Research and Education in the Digital Age

Hideaki Goto¹⁾, Motonori Nakamura²⁾, Hideaki Sone¹⁾

1) Cyberscience Center, Tohoku University

2) National Institute of Informatics

概要

学術系の無線 LAN ローミング基盤である eduroam は、世界 89 か国、国内 189 機関 (2017 年 9 月現在、前年末より +28 機関) に成長した。初等・中等教育機関や、市街地の公衆無線 LAN への導入も進められており、デジタル時代の教育・研究を支える基盤としての重要性が高まってきている。本報告では、世界規模の巨大な通信事業として、また、教育インフラのひとつとして eduroam を捉え、現在の開発状況を紹介する。世界で展開が進んでいる次世代ホットスポット (NGH) と eduroam を連携する仕組みを開発し、City Wi-Fi Roaming トライアルに参加することで、その有効性を確認した。

1 はじめに

国際的な学術無線 LAN ローミング基盤である eduroam (エデュローム) は、世界の大学や研究所等において、キャンパス無線 LAN の相互利用を実現する。日本では、eduroam JP の名称で 2006 年に実証実験的なサービスが始まり、2016 年 4 月からは国立情報学研究所 (NII) の正式サービスとして運用されている [1]。

eduroam は当初、主に大学等でキャンパス無線 LAN の相互利用を実現するためのシステムとして開発・導入が進められていた。近年では、[2, 3] で既報のように、市街地でのサービス提供が増加し、初等・中等教育機関への導入も進められるようになり、社会全体における教育・研究を支える基盤としての様相を呈してきている。

本報告では、教育インフラのひとつとして eduroam を捉え、現在の開発状況を紹介する。特に、世界で展開が進んでいる次世代ホットスポット (NGH) と eduroam を連携させることによって、ネットワーク利用環境が大幅に改善される可能性がある。その実現を目指して、2017 年の City Wi-Fi Roaming トライア

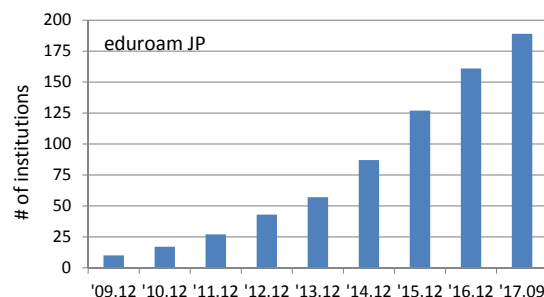


図1 eduroam JP 参加機関数の推移

ルに参加したので、概要と成果を示す。

2 教育・研究の基盤としての無線 LAN システム

2017 年 9 月時点で、eduroam は世界 89 か国 (地域) に普及し、国内では前年末より 28 機関増となる 189 機関が参加するに至った。図 1 に国内の参加機関数の推移を示す。国内には約 1,200 の高等教育機関があることから、普及率で見ると 16% 弱であるが、7 大学や主要私立大学にはほぼ導入されており、eduroam は重要な教育・研究基盤として認識されていると言える。

2015 年度年次大会 [2] 等で既報のとおり、大学のキャンパス内に留まらず、市街地や博物館等の施設、空港・鉄道駅、大学関係者の出入りの多い病院などでの eduroam サービスの提供も、世界各地でよく見られるようになった。特に、北欧各地の空港や、欧州原子核研究機構 (CERN) の最寄りのジュネーブ空港は、Twitter や Facebook でもしばしば話題に上るほど好評である。国内でも、世界的に早い 2010 年に、関東地区の市街地で eduroam サービスが開始された [4]。現在もカフェや貸会議施設等で利用可能となっており、教職員・学生から好評を得ている。

キャンパス外での eduroam サービスは、単に利用場所の増加のみならず、学習・研究活動にも影響を与える可能性が高い。例えば、興味ある文献などを出張先で見つけた際に、個人契約の携帯電話のテザリングで大きなファイルをダウンロードすることは、学生はもちろんのこと、研究者でも躊躇することが多いと思われる。思い立った時にすぐに学術リソースにアクセスできる環境を提供することは、教育・研究の支援の観点でも有用なものと考えられる。学外での調査等の多い研究者にとっては、特に有効であろう。収集したデータを最寄りのカフェで整理し、大学の計算サーバを用いてその場で解析するといったことも可能となる。

なお、市街地やカフェ等店舗では無償で利用できる公衆無線 LAN、通称「フリー Wi-Fi」が提供されていることがある。現在のフリー Wi-Fi は暗号化のない接続方式が一般的であり、偽基地局に誘導されやすいというセキュリティ上の問題が大きい。最近では、盗聴を防ぐための VPN サービスを契約し、容易に利用できるようになったが、偽基地局への接続は避けられないため、セキュリティの観点で十分な対策ではない。一方、eduroam が採用している 1X 認証では、正規の運用者が設置した基地局でなければ利用者認証を成功させることができず、認証に失敗すると端末は IP アドレスの取得さえできないことから、偽基地局への対策も可能である。すなわち、市街地における eduroam サービスは、端末を偽基地局から守り、暗号化により無線通信を保護するといった、セキュリティ面での利点も大きい。

学術利用に限らない、一般市民向けの公衆無線 LAN について見ると、世界の様々な都市において、フリー Wi-Fi が提供されている。従来、フリー Wi-Fi は買い物客や観光客が主な対象であったが、最近の幾つかのプロジェクトでは、住民へのネットワークアクセスの提供も目的のひとつに積極的に挙げられてお

り、電気や水道のように、行政が提供すべきインフラとしての側面が打ち出されている。ニューヨークの LinkNYC [5] では、高速無線 LAN 基地局と大型デジタルサイネージ、公衆電話、USB 充電端子を備え、ギガビット対応のバックボーン回線を持つキオスク端末が多数、主要な通りに並べられている。LinkNYC は、ニューヨーク市政府が中心となって、様々な企業が参画して作られているが、観光客ばかりではなく、地元市民へのネットワーク提供も主な目的のひとつとして掲げられている。特に、自宅にネットワーク回線を引けない層にネットワークアクセス手段を提供することの福祉的効果も、期待されている。

欧州では、2020 年までに EU 全域の町村にフリー Wi-Fi を展開するプロジェクト、WiFi4EU が立ち上がった [6]。このプロジェクトでは、居住地や収入の額に関わらずネットワーク利用を可能とすることがうたわれており、これにより公共サービスへのアクセス手段を確保するとともに、デジタル時代の社会福祉に貢献することが志向されている。

以上のように、公衆無線 LAN についても、公共性の高いインフラとしての重要性が高まり、学校に限らない教育活動・文化活動への貢献は小さくないと考えられる。

3 次世代ホットスポットと eduroam の連携

3.1 フリー Wi-Fi のセキュア化動向

利用者が無償利用できる、いわゆる「フリー Wi-Fi」は、観光地を中心に国内でも広く展開されている。しかしながら、前章に述べたように、現在の多くのフリー Wi-Fi には盗聴と偽基地局の問題がある。

幾つかの国では、フリー Wi-Fi においても、暗号化のない SSID (Service Set Identifier) に加えて、1X 認証用の SSID が併設されていることがある。例えば、シンガポールには Wireless@SG というフリー Wi-Fi サービスがあり、暗号化無しの SSID = “Wireless@SG” に加えて、1X 認証対応の SSID = “Wireless@SGx” が吹かれている。このサービスでは、通信事業者 4 社が認証連携しており、一か所で取得したアカウントがどの事業者の基地局でも利用できる。ニューヨークやサンフランシスコ、サンノゼなどの都市では、1X 認証をベースとした新しいシステム「Passpoint」(次節参照) が導入されている。

一方、日本国内のフリー Wi-Fi は、暗号化無しの SSID にキャプティブポータルを組み合わせたシステムが一般的であり、セキュア化が進んでいない状況に

ある。

3.2 次世代ホットスポット (NGH) の動向

世界の Wi-Fi 業界の動向を見ると、2014 年頃より北米を中心に、次世代ホットスポット (NGH, Next Generation Hotspot) の導入が活発化してきた。NGH は、Wi-Fi の業界団体である Wireless Broadband Alliance (WBA) と Wi-Fi Alliance が共同で推進してきた規格である。NGH では、端末の認証と接続を自動化し、認証情報を業者間で相互利用 (ローミング) できるようにすることで、公衆無線 LAN の利便性を携帯電話並みに高め、また、携帯電話とのシームレスな共存を図ることが志向されている。端末の自動認証・接続には、IEEE802.11u(以下 802.11u) と IEEE802.1X を組み合わせた、Hotspot 2.0 と呼ばれる仕様が用いられる。Hotspot 2.0 とオンラインサインアップ (OSU) などの機能をまとめて、Wi-Fi Alliance の認証を取得したものは、Passpoint と呼ばれる。サンフランシスコなどのフリー Wi-Fi や、無線 LAN 事業者が提供する公衆無線 LAN サービスなどで、Passpoint が導入されている。ニューヨークの LinkNYC でも、Passpoint が併設されており、一度の利用者登録のみで、以降はセキュアなフリー Wi-Fi が自動接続で利用できる。

Hotspot 2.0 を利用した自動接続において、後半の部分は eduroam が採用している 1X 認証と同じものである。前半の 802.11u の部分で自動接続が実現される。従来の 1X 認証では接続先の基地局の SSID を端末に登録しておく必要があるが、Hotspot 2.0 ではこれに代わって、利用者が契約している通信事業者のプロファイルが登録される。基地局側にも通信事業者のプロファイルが登録されており、SSID を問わず、合致するプロファイルが存在する基地局に対して、1X 認証による接続が試行される仕組みである。フリー Wi-Fi で用いられる SSID は、しばしば場所のオーナーなどの広告を兼ねているため、統一されたものを使うことは難しい。Hotspot 2.0 では、SSID に依存しない接続を実現したことにより、異なる場所でも端末の再設定無しにシームレスな利用が可能となる。

日本国内では、2016 年時点で、携帯電話や公衆無線 LAN の事業者に NGH を推進する動きが見られなかった。また、フリー Wi-Fi のセキュリティ問題が指摘されているにも関わらず、セキュアな接続手段の導入が進んでいなかった。このような状況の下、国内の公衆無線 LAN のセキュア化と NGH 導入を推進する目的で、本稿第一著者が発起人・幹事となって、2017 年 1 月に「セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会

(NGHSIG)」を発足させた [7]。

3.3 NGH 連携による市街地 eduroam サービスの拡充

eduroam では、セキュリティ確保の観点から、ウェブ認証の利用が禁止されている。また、利便性確保の観点から、原則として SSID=“eduroam”を使うことが求められている。これらの制約により、ウェブ認証を基本とする現行の公衆無線 LAN システムと eduroam を認証連携させることは、不可能であった。もし将来、市街地のフリー Wi-Fi に Hotspot 2.0(NGH) が導入されると、セキュリティ及び利便性の問題が解決され、eduroam サービスの市街地展開が容易になる可能性がある。

eduroam における従来の市街地 (キャンパス外) 展開では、SSID として “eduroam” を基地局に追加し、必要に応じてアクセス回線も用意する必要があった。公衆無線 LAN の基地局は、既に複数の事業者の SSID が相乗りしていることが多く、追加の SSID を吹く余裕がない、高額な運用経費が必要になるといった問題があり、eduroam サービスの展開は容易ではなかった。

Hotspot 2.0 の場合、SSID は任意となるが、802.11u の部分で eduroam 用のプロファイルが必要となる。802.11u では、ローミング・コンソーシアムを示す NAI realm (NAI: Network Access Identifier) が必要となるが、GÉANT(eduroam の国際運用の中心機関)において、“eduroam.org” が既に予約されている。ただし、認証方式などの細かい設定は確立されたものがなく、開発や検証が必要である。

フリー Wi-Fi は、個々の店舗や商店街組合、自治体など、基地局設置場所のオーナーの負担や、広告収入によって運営されており、ビジネスが局所的に閉じていることが多い。そのため、認証連携により無線 LAN システムを利用させてもらうのに、経費がそれほどかからなくて済む可能性が高い。実際に、次章で述べる City Wi-Fi Roaming トライアルでは、都市のフリー Wi-Fi が世界各国の携帯電話会社は無償でサービスを提供するモデルが模索されている。フリー Wi-Fi を提供する側にとっては、利用者が匿名よりも、個人に紐付けられたアカウントの方が、ネットワーク提供の責任を問われにくいという利点がある。また、既存のアカウントを利用できるため、サインアップや本人確認の手間が省けることも利点になる。

4 City Wi-Fi Roaming トライアルにおける実証実験

4.1 WBA City Wi-Fi Roaming

City Wi-Fi Roaming は、WBA が主催し、世界各地の都市で提供される公衆無線 LAN を NGH 基盤で結ぶことにより、ひとつのアカウントで相互利用（ローミング）できる環境を構築しようとする、世界規模のトライアル（プロジェクト）である。2016 年にニューヨーク、サンフランシスコ、サンノゼ、シンガポールを結ぶ第 1 回が開催された。第 2 回目となる 2017 年は、6 月 20 日の World Wi-Fi Day を起点として、8 月末までの期間、20 程度の都市を結んで開催された（図 2）[8]。本トライアルは、世界の通信事業者と共に認証連携の実証実験を行う、大変良い機会であると考えられた。

我々は、セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会として、主に以下の目的をもってトライアルに参加した [9]。

- WBA 及び世界の通信事業者との接点を作り、今後の様々な活動の足がかりとする。
- 研究会で構築中の NGH テストベッドシステムを世界の NGH 基盤に接続することにより、認証連携の実証実験や、Hotspot 2.0 の技術に関する情報収集・交換を行う。
- 国内の事業者に参加を呼びかけ、Hotspot 2.0/NGH の啓発と接続支援を行う。
- 多数のローミング・コンソーシアムを結んで、世界規模のローミング基盤を実現するための、インターローミングの認証連携アーキテクチャを開発する。eduroam と govroam を扱える仕組みを考案し、世界の NGH 基盤の上で実証実験システムを構築、評価する。

4.2 NGH テストベッドと JP hub

研究会では、NGH の国内基盤を構築するために、認証連携の中心となる JP hub を立ち上げ、これに幾つかの機関のサーバを接続して、NGH テストベッドを構築した。システムの概要を図 3 に示す。

執筆時点の仕様では、NGH テストベッドに接続されたすべての SP(Service Provider, 無線アクセスを提供する機関) と IdP(Identity Provider, アカウント情報を提供し認証処理を行う機関) は、相互利用が可能となっている。



図 2 WBA City Wi-Fi Roaming (©Wireless Broadband Alliance / World Wi-Fi Day 2017)

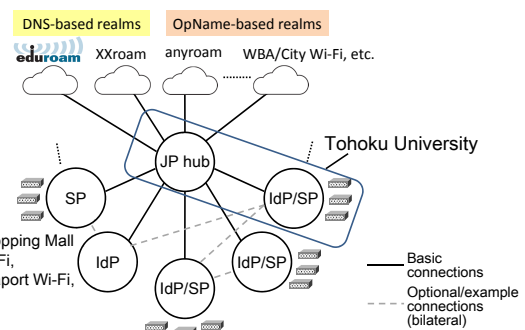


図 3 JP hub と NGH テストベッド

4.3 eduroam-NGH 連携の技術的課題

通常、ひとつの通信事業者はひとつないし少数のレルム (realm) を利用しており、認証連携では、ユーザーの後ろに@とレルム名を付けたものがユーザー ID として用いられる。認証連携ネットワークは、RADIUS プロキシが相互接続されたものであり、利用者端末から送られてきた認証要求をレルムを頼りにルーティング（経路制御）して、利用者の IdP(ホーム IdP と呼ばれる) まで転送する。

事業者間のローミングにおいて、SP ではレルムを見ることによって、ローミング契約のある事業者の利用者かどうかを判断できる。例えば、端末から送られてきたユーザー ID に boingo.com というレルムが含まれていれば、米 Boingo 社の利用者であることが判る。レルムが domru.ru であれば、露 ER Telecom 社だ

と判る．一方，eduroam では，レルムを見ただけでは eduroam の利用者であると判断するのが難しい．eduroam は巨大なローミングコンソーシアムであり，世界中の参加機関のレルムが存在するが，機械的に判断できる共通の文字列がレルムに含まれているわけではない．例えば，SP で tohoku.ac.jp というレルムを見たとき，ac.jp が日本の大学関係のレルムだという事前知識がなければ，認証要求を eduroam のプロキシに転送するという判断ができない．

eduroam をベースに開発された，政府関係機関向けのローミング基盤である govroam [3] でも，同様の問題がある．膨大な数のレルムとコンソーシアムの対応表をすべての SP が持ち，常に最新の情報にアップデートすることは，現実的ではない．そのため，eduroam や govroam を NGH 基盤に接続しようとする時，認証要求を正しいコンソーシアムのプロキシに転送するための，効率的な仕組みが必要となる．

そこで，以上の問題に対処できるような，インターローミングを実現するアーキテクチャを開発し，TNC17 Mobility Day で発表した [10]．図 4 にシステムの全体構成を示す．各国には eduroam や govroam，その他のローミング基盤（図中の XXroam）が存在し，それぞれに世界規模で接続されたコンソーシアムがあると仮定する．eduroam や govroam のレルムは，DNS ドメイン名に対応するように設計されていることから，ccTLD (country code Top Level Domain) ごとにルーティングを分散処理することを考える．各国に代表となるプロキシ（以下，代表プロキシ）を 1 台用意し，他のコンソーシアムと同様に，世界で水平に認証連携した Hub layer を設ける．代表プロキシは，当該国内のすべてのコンソーシアムとレルムの対応表を持ち，適当な間隔で更新しているものとする．国内では図 3 の JP hub がこの役割を担う．

例えば，日本国内では，すべての ac.jp レルムは eduroam に所属しているとみなせるため，該当する機関のレルムをひとつの正規表現でまとめることができる．go.jp については，eduroam の対象機関と政府関係機関が混在しているため，個別のレルムを対応表に登録する必要がある（注：日本はまだ govroam に加盟していない）．また，kek.jp のように，汎用 JP ドメインを使用している所は，執筆時点で 10 機関である．

このアーキテクチャでは，レルムの対応表が各国に分散されるため，スケーラビリティの問題が軽減される．SP 側で利用者のコンソーシアムを知ることは依然として困難であるが，IdP 側は認証要求のパケッ

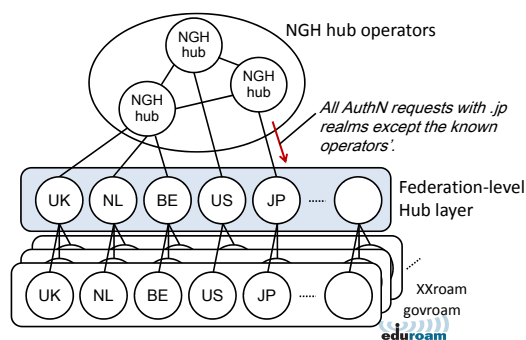


図 4 インターローミング・アーキテクチャ

トに含まれる Operator-Name 属性値を調べることによって，ローミング契約のある SP かどうかを判断し，認証処理の可否を決めることが可能である．

4.4 実証実験

2017 年 5 月頭に City Wi-Fi Roaming のキックオフの遠隔ミーティングがあり，参加機関・都市の募集と NGH 基盤への接続作業が開始された．世界の 4 つの NGH hub オペレータのうち，前年のプロジェクトで実績のある GlobalReach Technology 社（以下，GR 社）をパートナーに選び，GR 社の hub に JP hub を接続して，これにより世界の NGH 基盤への接続を果たした．

最終的には，40 程度の携帯電話会社が 3GPP ネットワークを介した EAP-SIM 認証を提供し，約 20 の都市が参加表明を行った．我々は国内の NGH 基盤と eduroam の，ふたつのコンソーシアムについて，これらのアカウントを供給する立場に加えて，参加する事業者を募って国内数か所に基地局を立てる計画を立てた．

当初，末尾が .jp のすべてのレルムについて，認証要求を JP hub に集約できるように，NGH hub オペレータに依頼した．研究会では nghsig.jp というレルムを使用するが，これも .jp に含まれる．ただし，既知の事業者のレルムや，eduroam/govroam が含まれることのない co.jp, ne.jp などのレルムは除外した．しかしながら，NGH hub オペレータ側で正規表現を用いたレルム・マッチングがすぐには実装できないということで，以下の 3 種類を固定レルムとして転送してもらおうように計画変更せざるを得なかった．

- tohoku.eduroam.jp
(東北大学の eduroam 実験用アカウント)
- tohoku.nghsig.jp
(NGHSIG, 東北大学用アカウント)

- wwd.nghsig.jp
(NGHSIG, World Wi-Fi Day 配布用 (デモ) アカウント)

基地局については、まず東北大学サイバーサイエンスセンターの実験室に Hotspot 2.0 対応のものを一基設置して、屋外からも利用できるようにした。一般に、大学等の既存の eduroam 基地局及びネットワーク回線は、教育・研究目的の利用に限定されていることから、一般利用者のローミング利用を受け入れることは困難である。そのため、上流のネットワーク回線には NII より実験用として借りたものを用いた。基地局のベンダより協力の申し出があり、追加で東京にも基地局を設置することができた。この他、7月上旬に3か所程度の基地局設置を予定したが、基地局の入手や現場の調整が大幅に遅れたことから、一般に公開できたのは8月に入ってからであった。最終的には、仙台1、東京2、京都2の計5か所でサービスを提供できたが、京都の1か所は旅館であり、eduroam を提供する国内初の宿泊施設となった。

4.5 接続試験と評価

最初に、GR社が提供する Passpoint OSU (Online Sign-Up) を利用して Passpoint プロファイルを取得し、iPhone や Android スマートフォンから無線 LAN が利用できるかどうかを試した。iPhone では概ね良好に自動接続が可能であったが、Android 6系はプロファイルが読み込めなかったり、プロファイルが入っても自動接続しなかったりなど、トラブルが多発した。基地局のファームウェアにもバグが多いことが判明した。デバイスの実装や相性の問題が多いことは WBA でも把握しており、執筆時点でもテストと改良が続けられている。

スマートフォンを用いた EAP-SIM 認証については、AT&T等のSIMを用いて、正常に認証・接続が可能であることを確認した。City Wi-Fi Roaming の参加都市では、観光客が自国の携帯電話のSIMを使い、現地で利用登録なしに、無償かつセキュアに公衆無線 LAN を利用できる。これは、観光客誘致の観点でも、ネットワークの不正利用防止の観点でも、大きな利点であると考えられている。

Wi-Fi プロバイダとの認証連携については、著者が契約している Boingo の Passpoint プロファイルを利用して、国内の基地局で正常に認証・接続できることを確認した。

国外からの接続試験は、以下のように行った。ただ

し、Passpoint プロファイルを作成するシステムを期間内に用意できなかったことから、RADIUS のテストコマンドや、端末上で 1X 認証の手動設定を利用して、認証連携の部分のみを評価した。まず、GR社からの認証テストが正常なことを確認した。次に、ER Telecom の担当者にテストを依頼して、ロシアからも正常に認証が通ることを確認した。

海外のフリー Wi-Fi での接続試験を行うために、参加都市に在住あるいは訪問予定の人をボランティアとして募集したが、期間内に適切な人が現れなかった。そのため、著者自らが旅行を計画し、イギリスのバーミンガム及びリーズにて、接続試験を行った。もし Passpoint が利用できるなら、利用者が現地の SSID を知らなくても自動接続されるはずである。しかし、今回はプロファイルを用意できなかったため、City Wi-Fi Roaming に対応した基地局を現地で探し出すのに苦労した。どの事業者が提供しているフリー Wi-Fi が該当するかも不明で、ウェブでもこの情報を得られなかったことから、それらしい商店街などを歩き回って探すしかなかった。結局、両市とも SSID="#Passpoint" を吹いている基地局が該当のものであると判明した。その後、iPhone と Android の両端末で、手動で 1X 認証の設定を行い、自前のアカウントで正常に認証・接続できることを確認した。

NGH hub オペレータにおいて、すべての .jp レルムを転送できるようにするため、正規表現に対応したシステムが開発中である。この開発が完了すれば、国内のすべての eduroam アカウントが利用できるようになる。また、日本以外の国でも、代表プロキシを設置すれば、容易に eduroam-NGH 連携が実現できるようになる。一方、現行の eduroam のルールでは、Hotspot 2.0 対応システムの実装方法や、eduroam 以外の SSID の利用についての規定がないため、今後、GÉANT の eduroam コミュニティでも調整を進める必要がある。

5 むすび

eduroam は世界各地において市街地や空港・駅、病院、博物館などに導入が進み、キャンパス無線 LAN の枠を越えて、社会における教育・研究を支える基盤として認識されるようになってきた。一方、近年では公衆無線 LAN のセキュア化が進められるようになり、既に一部のフリー Wi-Fi には 1X 認証や次世代ホットスポット (NGH) が導入されている。本報告では、セキュア化されたフリー Wi-Fi と eduroam を連携する

ことで、教育・研究基盤がさらに強化される可能性を示した。また、その実現に向けて参加した City Wi-Fi Roaming トライアルの概要と、実証実験の成果を紹介した。

Hotspot 2.0 仕様による自動接続については、端末側・基地局側とも、まだ実装上の不具合が多い。その改善動向を見ながら、eduroam-NGH 連携方式を洗練し、実用化していくことが、今後の課題である。

本研究の一部は、平成 29 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/>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [2] 後藤英昭, 中村素典, 曾根秀昭, “キャンパス無線 eduroam の国内外の最新動向,” 大学 ICT 推進協議会 2015 年度年次大会 論文集 3E3-2, 2015.
- [3] 後藤英昭, 中村素典, 曾根秀昭, “キャンパス無線 eduroam と関連サービスの最新動向,” 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会 論文集 WE25, 2016.
- [4] “ライブドアと NII、学術無線 LAN ローミング基盤の共同実験を開始,” INTERNET Watch, 2010.3.9.
<http://internet.watch.impress.co.jp/docs/news/353536.html>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [5] LinkNYC: <https://www.link.nyc/>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [6] WiFi4EU | Free Wi-Fi for Europeans:
<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/wifi4eu-free-wi-fi-europeans>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [7] セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会 (NGH-SIG): <http://nghsig.jp/>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [8] City Wi-Fi Roaming: <http://worldwifiday.com/city-wi-fi-roaming/>
(2017 年 9 月 25 日参照)
- [9] “City Wi-Fi Roaming 大学としては世界初参加-世界中でつながる次世代ホットスポット (NGH) と eduroam の連携を推進 -,” 東北大学プレスリリース, 2017.6.27.
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/>
- [10] Hideaki Goto, “Inter-roaming architecture for eduroam/govroam/public WLAN integrated services,” The TNC17 Networking Conference, Mobility Day, 2017.
<https://tnc17.geant.org/core/event/23>
(2017 年 9 月 25 日参照)