

# 学術会議のための一時的なイベントネットワークの持続可能な運営に向けた取り組み—WISS 2017に基づく検討

丸山 一貴<sup>1,a)</sup> 原 貴洋<sup>2</sup> 中村 嘉志<sup>3</sup> 瀬川 典久<sup>4</sup>

受付日 2018年6月25日, 採録日 2018年12月4日

**概要:** 学術会議における参加者へのインターネットアクセス提供は重要であり, 我々は 200 人規模で開催される合宿形式の IT 系学術ワークショップ WISS において, 運営委員として会場内のネットワーク構築とインターネットアクセスの提供を行ってきた. こうした運営の困難さとソフトウェアルータを用いた解決策については先行研究で述べたが, 我々はさらに 3 年間の運用経験を積み重ねてきた. その結果, 運営委員が任期ごとに交代しても運営内容は持続可能とするという課題が残っていることが明らかとなった. そのうえで, ソフトウェアルータ上のプロキシサーバを排除することと, 無線 LAN の構築と監視体制をルーチン化することで課題解決につながると考えた. 本論文では, 実際に WISS 2017 での運用を通じて収集したデータと参加者のアンケートにより, これらが可能であることを示す.

**キーワード:** イベントネットワーク, ソフトウェアルータ, プロキシサーバ, ネットワーク構築, 無線 LAN 構築

## Toward Sustainable Operation of Constructing Temporal Network for Academic Conferences: Consideration Based on WISS 2017

KAZUTAKA MARUYAMA<sup>1,a)</sup> TAKAHIRO HARA<sup>2</sup> YOSHIYUKI NAKAMURA<sup>3</sup> NORIHISA SEGAWA<sup>4</sup>

Received: June 25, 2018, Accepted: December 4, 2018

**Abstract:** Internet access service is worth providing at academic conferences. WISS, workshop on interactive systems and software, is an academic, annual workshop for IT research field and held in a camp-style with about 200 participants. As members of the steering committee of WISS, we have been constructing the local network at the conference venues and providing the Internet access to the participants. In our previous work, we have proposed one solution for the service provision and operation at the sites using a software router. Through three years experience from that work, we now focus on another problem of sustainability on our operation; each member of the committee retires after a 5-year term. Two changes are required for the sustainability: (1) to finish the proxy server service on the software router and (2) to establish a routine for constructing and monitoring the wireless network. In this paper, we show the changes are feasible through the collected data at WISS 2017 and the questionnaire to the participants.

**Keywords:** event network, software router, proxy server, network construction, wireless network construction

<sup>1</sup> 明星大学  
Meisei University, Hino, Tokyo 191–8506, Japan  
<sup>2</sup> ヤマハ株式会社  
Yamaha Corporation, Hamamatsu, Shizuoka 430–8650, Japan  
<sup>3</sup> 国士舘大学  
Kokushikan University, Setagaya, Tokyo 154–8515, Japan  
<sup>4</sup> 京都産業大学  
Kyoto Sangyo University, Kyoto 603–8555, Japan  
a) kazutaka@acm.org

### 1. はじめに

学術的な会議や研究発表会, IT 系の勉強会等 (以下, 「学術会議」という) では, 発表内容に関連する論文の検索や資料のダウンロード, SNS での発信や情報共有等を目的として, 発表中に聴衆がネットワークを利用したいと考えることが多い. 都心等の市街地で開催される場合は, 公衆無線

LAN サービスや聴衆自身が持つモバイルルータ、スマートフォンによるテザリングにより、参加者個人がアクセス回線を確保できる。一方で、市街地から離れた場所で100人を超える規模の学会会議を行う場合は、会場内での無線LANの電波干渉やキャリア回線における輻輳の問題があり、品質の良いアクセス回線を確保することは困難である。また、発表者が提案するシステム等のサーバを会場内に設置して実運用し、会議参加者が利用してフィードバックを返すような場合もあり、学会会議の主催者が一時的に会場内のネットワークインフラ（以下、「イベントネットワーク」という）を準備して提供することには合理的な利点がある。

日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェア研究会主催の学術ワークショップであるWISSは200人規模の参加者による学会会議であり、毎年2泊3日の合宿形式で開催される。開催地は原則として毎年異なる会場が選定され、市街地から離れた場所が選ばれることが多く、会期中はほとんどの参加者が会場から外出することなく深夜まで様々なアイデアについて議論を交わしている。WISSは会場にLANを敷設して発表中にチャットによる意見交換を行うことを古くから導入してきた会議でもあり、発表に関する議論を活発化するグループウェア [1], [2] や参加者同士のコミュニケーションを促進するシステム [3] を会場内で運用して知見を蓄える試みも行われている。登壇発表のインターネット中継も導入されており [4]、イベントネットワークとして会場内のネットワークとインターネットへのアクセス回線を確保することは当該会議運営における必須要件となっている。

我々はWISSの運営委員として会場ネットワークとアクセス回線の提供を担当しており、2014年に開催されたWISS 2014までの取り組みと、ソフトウェアルータVyOSにより会場の基幹ネットワークを構成することの利点についてはすでに述べた [5]。その後、委員の任期満了にともなう交代を経ながらWISS 2017まで3年間の運用を行ったことにより、新たな課題が明らかになった。

第1は、定期的な委員の交代により、ネットワーク運用の知識と経験をほとんど持たない担当者（以下、「非ネットワーク運用経験者」という）が委員にならざるをえないことと、運営にあたって学生ボランティアによるサポートが必須となることである。WISSの参加者はネットワークの利用者ではあるが管理者の経験を持つ人はほとんどおらず、ネットワークの構築と運用を担当できる十分な知識と経験を持つ委員が必ずしも確保できるとは限らない。また、ネットワーク担当の委員は会場担当やデモ担当の委員と密接に連携する必要がある。したがって、事前の設定作業や現地での敷設作業、動作確認にあたっては一部を学生ボランティアに委ねざるをえないが、やはりネットワークに精通した人材を確保できるとは限らない。第2は、参加

者に提供する無線LANについてはアクセスポイント（以下、「AP」という）を適切に設定し、会期中の負荷状況をモニタリングしながら適正に運用する必要がある。非ネットワーク運用経験者が安定して運用できる機器構成と運用手順に移行する必要があると考えた。詳細は3章で述べるが、これら2点に対する具体的な方針として、我々はソフトウェアルータ上のプロキシサーバを排除することと、無線LANの構築と監視体制をルーチン化することとした。

ネットワークの敷設と運用を専門業者に外注して実現することも考えられる。しかしながら、参加費の増額が見込まれることになり、学生の参加が多いWISSとしては望ましくなく、当面は運営委員によるボランティア的な運用を継続することが妥当と考えられている。

本論文では、専門業者に頼ることなく無線LANを用いた200人規模のイベントネットワークを構築・運用し、委員の交代を経ながらも持続的に運営するための方針を、WISS 2017で収集したデータと運営の経験に基づいて提案する。本論文はWISSと同等の規模を持つ学会会議を運営しようとする担当者や、ネットワークエンジニアを志向する学生に知見を提供することで、結果として学会会議の運営やその発展に貢献することをも目的とする。以下、2章で関連研究との比較を述べ、3章ではWISSにおけるイベントネットワーク運営の課題を述べる。4章では会期中のプロキシサーバのログに基づいた分析を、5章では無線LANの構築と監視体制および会期中の負荷状況を記す。6章でWISS 2017参加者に実施したアンケートと負荷試験の結果を紹介し、7章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

学会会議において、その運営委員がインターネットへのアクセス回線を含むイベントネットワークの提供を行う際の方法論や知見について議論された文献は、我々の知る限り少ない。本章では、イベントネットワークの運用という観点で関連研究を俯瞰し、本論文の位置付けを明らかにする。

イベントネットワークの運用で課題となるものの1つに異常状態の検知がある。イベントネットワークはその場限りの目的で短期間のうちに構築される。また、そこに接続される端末は一般参加者がイベント関連情報を閲覧する端末だけでなく、発表者や出展者が持ち込むデモ用の機器も含まれ、これらは振舞いの予見が困難といえる。結果として、イベントネットワークはその可用性や安定性という観点で脆弱性が内在し、しばしば不具合を誘発することとなる。阿部ら [6] は、計算機ネットワークに関する大規模な展示会であるInterop Tokyoにおいて、接続端末数が数百台を超えるイベントネットワークの運用を円滑に行うための取り組みについて述べている。syslog 機構により通知されるイベントネットワーク構成機器の稼働状態を集約し、

個別の syslog 通知のセマンティクスには立ち入らない代わりに機器ごとの通知の時間的変化量に着目し、それらを株価における値動きになぞらえて異常検知を行う手法を提案している。一方、木村 [7] は、ネットワークの中で重要な構成機器の不具合は他の機器にも波及して syslog 通知が共起する現象に着目し、通知のセマンティクスに単語レベルで立ち入って処理をして関連性のある機器群を集合として検出する手法を紹介している。また、syslog 通知には頼らず、アクセスランプのように機器が人間向けに発する外見の稼働状況の表示（ただし異常表示とは限らない）を小型のカメラで定期的に撮影して画像処理を施し、定常状態からの変化を異常状態として検出する手法も提案されている [8]。本論文で対象とする規模の学会会議の場合はこれらの関連研究に比べるとネットワーク規模が小さく、デモ発表等に使用する小規模会場が同一施設内でやや離れている場合があるもの、おおむね目視可能範囲内に主要構成機器を配置できるため、関連研究のような大がかりな仕組みは現在のところ不要である。今後、規模の拡大や会場の分散化が進む場合にはこれらの手法を応用することが考えられる。

無線 LAN の異常検知については、電波を用いる性質上、状況を目視できるものではないため性能低下や不具合を誘発しやすいという事実もある [9], [10]。WISS ネットワークでは機器の syslog 通知を集約して負荷状況を簡単に可視化することと、参加者の協力の下で、次年度のイベントネットワーク構築と運用に向けた多人数による無線 LAN の負荷試験を行っている。無線 LAN の運用については 5 章で、負荷試験については 6 章で述べる。

異常検知だけでなく、ユーザによる利用形態の変化にも柔軟に対応する必要がある。学会会議では発表を聞きながら関連研究を調査する等の目的でインターネットが利用されることが多く [5]、こうしたリソースは Web サイト上で提供されていることから HTTP [11] によるアクセスが主体となる。近年はセキュリティや情報発信者の真正性を示すという観点から、SSL/TLS [12] を用いた HTTPS へと急速に移行が進んでいる。Google 社による透明性レポート [13] によれば、Google の提供サービスに占める HTTPS による暗号化通信の割合は、2014 年はじめには全体の約 50% だったものが、2018 年には 90% を超えるまでに増加した。Google 社では、今後、同社サービスで 100% の暗号化を実現するという目標を掲げているといい、こうした動向は同社に限らないと考えられることから、HTTPS の普及率はますます増大する傾向にあるといえる。このときに問題となるがプロキシサーバである。イベントネットワークでは多人数がインターネットへのアクセス回線を共有することから、HTTP による通信ではプロキシサーバのキャッシュ機構が効果を発揮するが、HTTPS による通信は内容が暗号化されるためプロキシサーバにおけるキャッシ

はその効力を発揮しない。そればかりか、逆に性能低下につながるなどの指摘も報告されている [14]。WISS においてもプロキシサーバを運用してきたが、このようなインターネット全体の動向の変化をふまえて検討を行った。これについては 4 章で詳述する。

### 3. WISS ネットワークの課題

本章では先行研究 [5] で述べた課題を概観しつつ、以降の運営で明らかになった課題を運営の持続可能性という観点から整理して述べる。

#### 3.1 WISS ネットワーク運営における持続可能性

表 1 は、ネットワークの敷設についてその規模と固定的か否かによって整理したものである。接続端末数が数十台程度までのネットワークは、そのネットワークが固定的か一時的かにかかわらず、民生品や法人向けのエントリレベルの機器により比較的容易に対応することができる。端末数が数百台を超える大規模ネットワークでは専門業者による構築と運営が必要であり、その費用も多数の参加者により分担可能である。これらの中間に位置する規模のネットワークを固定的に設置する場合は、構築のために十分な時間をかけて計画的に実施することが可能であるが、イベントネットワークのように一時的にしか設置しない場合にはそうした準備は困難である。また、200 人規模の参加者数では、専門業者に外注した費用を参加費に転嫁することも難しい。結果として、運営委員によるボランティア的な運用が現実的な解であるといえる。本論文が対象とするイベントネットワークはこのような中規模の一時的なネットワークである。WISS 2017 では 166 人の参加登録があり、336 台の端末がネットワークを利用していた。

先行研究 [5] では、WISS のような学会会議におけるイベントネットワークの運営に関する問題点を、以下の 3 点に整理して述べた。

- (1) 人的資源
- (2) 時間的・金銭的成本
- (3) 環境変化への対応

第 2 点および第 3 点については、PC ベースの機器上でソフトウェアルータを用いることにより、ネットワーク構成の変更に柔軟に対応できる仕組みを比較的安価に構築する方法を確立することができた。一方で、第 1 点の人的資源については、WISS というコミュニティの性質を考慮すると、運営委員および学生ボランティアとして確保できる

表 1 ネットワークの分類  
Table 1 Categories of networks.

端末数	～50	～500	500～
固定的	会議室, 研究室	教室, オフィス	教室, オフィス
一時的	ゼミ合宿	学会会議	大規模イベント

人材という観点で引き続き問題をかかえている。

WISS はインタラクティブシステムやソフトウェアの研究者によるコミュニティであり、ネットワークを利用したシステム構築や、Web ベースのシステムの実装に精通した研究者も多く、コーディング能力とエンドユーザとしてのネットワークの知識を備えた人材は豊富である。しかしながら、管理者という視点や経験を持つ研究者は稀であり、ルーティングを含むネットワークの設計や、機器の設定を担当できる後任者を見つけるのは非常に困難である。PC ベースのソフトウェアルータは専門的なコマンドによる設定が必要で、比較的大型な筐体となる。それを扱える委員がいる間は非常に有効な解であるが、委員の交代を前提とした持続可能性という観点では有効とはいえない。

もう 1 つの問題は無線 LAN の構築と運営である。現在の WISS では、LAN ケーブルの配線が必要な有線 LAN 接続については提供する座席数を最低限に抑え、参加者には原則として無線 LAN での接続を依頼している。理由は 2 つあり、会期前日に行う敷設作業の負担を減らすことと、ケーブル配線のミスに起因するトラブルを減らすことである。ケーブル配線を担当してくれる学生ボランティアには、前述のとおりネットワークに関する知識が不十分なスタッフも多く、誤った配線が行われてそのトラブルシューティングに時間を要することもあった。したがって、無線 LAN によるネットワークアクセスの提供は有効であるが、会場ごとに設置されている公衆無線 LAN サービスのチャンネルを確認してから現地で AP を設定し、無線 LAN に接続できないという苦情を受けてから AP の状態を確認するという運用を行ってきた。このような現地での試行錯誤を前提とした構築と運営は、無線 LAN の周波数帯やその特性、チャンネル干渉について知識を有する運営委員を必要とするため、持続可能性という観点では不適切である。

### 3.2 課題解決の方針

3.1 節で述べた課題について、解決のための方針を述べる。

#### 3.2.1 構成と管理運用の簡素化

ソフトウェアルータによる運用の問題点については、以下の 2 点で解消することとした：(a) 機器構成を簡素化するため、プロキシサーバ機能を排除すること。(b) 非ネットワーク運用経験者が担当しやすいよう、GUI による管理画面を利用することで設定作業を簡素化するため、アプライアンス型機器に置き換えること。

図 1 に、WISS 2017 における基幹ネットワークの構成と、アプライアンス型機器群に変更した場合の構成を示す。アクセス回線は 2 回線を確保し、1 回線を発表者とインターネットへの動画中継用に、もう 1 回線を一般参加者のアクセス回線用に割り当てている。ソフトウェアルータは 200 人規模、300 台を超える参加者の端末を集約するた

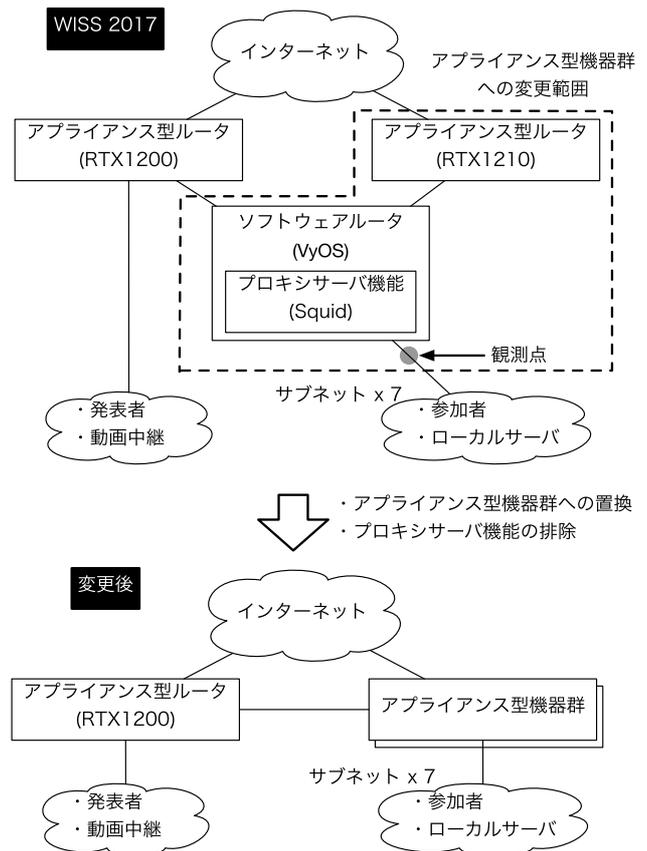


図 1 WISS 2017 の基幹ネットワークと変更後のイメージ図  
Fig. 1 Core network structure of WISS 2017 and one in the future.

めに利用しており、有線 LAN と無線 LAN 合わせて 7 つのサブネットワークを運用している。WISS2018 以降では、図 1 の変更後に示すとおり、プロキシサーバ機能を排除し（前述の (a)）、ソフトウェアルータをアプライアンス型機器群に置き換える（前述の (b)）ことを目指している。

ソフトウェアルータをアプライアンス型機器群に置き換える場合、以下の懸念事項が考えられる。

- (1) サブネットワーク数の増加等、ネットワークの構成変更に対応できなくなること。
- (2) 中規模イベントネットワークに耐えうる性能のアプライアンス型機器を選択することで、ソフトウェアルータよりも価格性能比が悪化すること。
- (3) プロキシサーバの機能を内包できないこと。

第 1 点について、先行研究 [5] の時点では WISS ネットワークの構成を試行錯誤しながら模索しており、柔軟な構成変更が必要とされていた。しかしながら、以降 3 年間の運用経験と無線 LAN を中心とした構成で安定したことにより、これは懸念事項ではなくなり、むしろより簡易な運用管理を目指す方が重要であると判断した。ここでいう、より簡易な運用管理には 2 つの側面がある。1 つは専門的なスキルを要するコマンドラインによる機器設定を、GUI 画面による簡易的な設定方法に変更することである。もう

1 つは、機器の保管や運搬にかかる負担の低減である。

第 2 点について、以前は本論文で対象とする中規模イベントネットワークに対してややオーバスペックなアプライアンス型機器しかなかったため、汎用 PC とフリーのソフトウェアを組み合わせた方が価格性能比が良かった。しかしながら、近年は中規模ネットワークに対して適切な性能のアプライアンス型機器が市場に登場してきたことにより、これは懸念事項ではなくなった。

一方で、第 3 点については上記の 2 点と異なり、検討すべき点がある。学術会議では、発表を聞きながら関連研究を調査したり、デモ動画をオンラインで視聴したりするという利用も少なくない。このような利用ではアクセス回線がボトルネックになると考えられることから、プロキシサーバが有効であると想定し、図 1 のとおり WISS 2017 ではソフトウェア上で動作させていた。アプライアンス型機器に移行した場合（前述の (b)）はプロキシサーバ機能を内包できないため、別の機器を用意してプロキシサーバ機能を継続するか、別の機器は用意せずプロキシサーバ機能を排除するか、いずれかを選択しなければならない。運用の負担を低減させるという観点からは、後者の「プロキシサーバ機能の排除」を選択する（前述の (a)）ことが望ましい。そこで、プロキシサーバ機能の排除が可能であること、すなわち、排除してもアクセス回線への負荷は脅威とならないという仮説を立証する必要があると考えた。我々は WISS 2017 におけるプロキシサーバのログを解析することでこの仮説を検証することとした。これについては 4 章で述べる。

### 3.2.2 無線 LAN の構築と監視体制のルーチン化

無線 LAN については、その構築と運用を非ネットワーク運用経験者と学生ボランティアが担当できるよう、会期前に無線 LAN 構成機器の GUI 画面を用いて設定を投入する段階から、会期中に負荷状況を監視しつつ適切に対応する段階までのルーチン化を目指すこととした。

WISS では以前より無線 LAN によるネットワークアクセスの提供を行ってきたが、公衆無線 LAN サービスの増加等により 2.4 GHz 帯が飽和したことで安定的な運用が難しく、ある時期には有線 LAN による接続を標準とした時期もあった。現在は 5 GHz 帯に対応した端末が増え、また、仕様で示された接続台数まで確実に性能が発揮される AP を確保できたこともあり、ここ 3 年ほどでようやく安定した運用に至っている。

WISS は原則として会場となる施設が毎年変更になる一方で、施設内部の会場レイアウトはほとんど変わらない。登壇発表を行う大規模なメイン会場を 1 部屋と、その近隣にデモ発表等に使用する小規模な会場を 3 部屋程度配置するという構成である。また、参加人数も大幅に増減することなく推移している。そこで、設定の投入には GUI 管理画面を用い、性能の担保がある AP を会場内にバランス良く

配置して、各 AP への接続数をリアルタイムに監視し、接続端末数が仕様上の上限に近づいた AP の数が複数になった場合に予備機を追加配置するという方法により、非ネットワーク運用経験者による運用が可能ではないかという仮説を立てた。WISS 2017 において実際にこの方針で無線 LAN の運用を行うことでこの仮説を検証することとした。これについては 5 章で述べる。

## 4. プロキシサーバの効果測定

プロキシサーバは、現在ではアクセス制御やロギングの目的で使われることが多いが、イベントネットワークではキャッシュの効果によりアクセス回線の帯域を節約することが期待される。WISS では、ソフトウェアルータ VyOS が有する透過型プロキシサーバの機能を利用してきた。これが効果を発揮する典型的なシナリオは、登壇発表中に示された参考資料（論文や動画等）へのアクセスがバースト的に発生する、というものである。一方で、現在は HTTPS による接続が一般化しつつあるため、プロキシサーバのキャッシュ機能が真に有効であるかは疑問であり、我々はプロキシサーバを排除してもアクセス回線への負荷は脅威とならないという仮説を立てた。本章では WISS 2017 の会期中におけるプロキシサーバのログを解析することにより、この仮説の妥当性を検証する。

### 4.1 会期中全体のキャッシュヒット率

WISS 2017 の会期は 2017 年 12 月 6 日 (水) 13:00～2017 年 12 月 8 日 (金) 12:00 までであり\*1、この期間全体について平均化したキャッシュヒット率を集計した（表 2）。HTTPS による接続はプロキシサーバを介さず外部と直接接続しているため、ログには HTTP による接続のみが記録されている。会場内には、図 1 中に示したローカルサーバとしてチャットサーバや機器監視用の Zabbix サーバがある。これらへの接続はアクセス回線の帯域圧迫に影響しないため、ログを解析する際に除外した。

接続数ベースのキャッシュヒット率が高い場合は、図 1 におけるヤマハ社製 RTX1210 の NAT テーブルエントリ数に対する脅威となりうる。しかし、仕様上の最大値は 65,534 であり、運用中に観測される最大値は 16,000 程度\*2のためプロキシサーバを排除しても影響はないといえる。転送量

表 2 会期中全体のキャッシュヒット率  
Table 2 Cache hit rates in WISS 2017.

接続数ベース	転送量ベース
7.32%	2.22%

\*1 <https://www.wiss.org/WISS2017/Program.html>

\*2 WISS 2017 では NAT テーブルエントリ数を測定できなかったが、WISS 2015 での最大値が 13,630、WISS 2016 での最大値が 16,156 であった。参加者数がほぼ横ばいであることから端末数も同等と考えられ、16,000 程度と推定している。

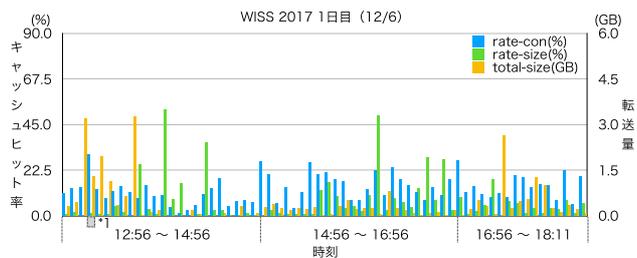


図 2 1日目のキャッシュヒット率とデータ転送量

Fig. 2 Cache hit rates and transferred data size (day 1).

表 3 接続数ベースのキャッシュヒット率 上位 5 件

Table 3 Top 5 of cache hit rates in the number of connections.

ヒット率 (%)	接続数 (本)	転送量 (GB)	日時
43.57	342	0.005	12/7 12:11
35.21	6,961	0.204	12/7 10:46
30.80	6,168	1.306	12/6 13:11
29.40	5,402	0.492	12/7 11:01
28.34	4,016	0.346	12/7 09:46

ベースのキャッシュヒット率が高い場合は、RTX1210 のインターネット側回線である 1 Gbps の光ファイバ接続<sup>\*3</sup>の帯域に対する脅威となりうるが、これもプロキシサーバの排除は影響しないといえる。

#### 4.2 5分平均の集計結果

日中の登壇発表やデモ発表が行われている時間帯にスパイク的なピークが現れる場合は、プロキシサーバの排除がより脅威となると考え、5分ごとの平均を求めることとした。ただし、会期中全体の集計とは異なり、夜間から深夜にかけて議論を行うナイトセッションでは参加者の多くがノート PC を使わないこと、日中のセッションのようにシングルトラックではないこと<sup>\*4</sup>から、集計は日中のセッションが開催されている時間帯に限定した。

図 2、図 3 および図 4 は、それぞれ会期の 1 日目、2 日目および 3 日目について以下の集計結果を図示したものである。

- 接続数ベースのキャッシュヒット率 (rate-con)
- 転送量ベースのキャッシュヒット率 (rate-size)
- プロキシサーバから参加者端末へのデータ転送量合計 (total-size)

まず、3つの指標のそれぞれ上位 5 件について、具体的な数値を示す。表 3 は、接続数ベースのキャッシュヒット率の上位 5 件について、当該時間帯 (5 分間) のプロキシサーバへの接続数と転送量合計を示している。接続数については、いずれも RTX1210 の NAT テーブルエントリへの脅威とはならないといえる。表 4 は、転送量ベースの

\*3 NTT 東日本のフレッツ 光ネクストを使用した。

\*4 ナイトセッションでは会場内の随所で小規模なグループができがあり、研究内容のデモや議論が行われている。

表 4 転送量ベースのキャッシュヒット率 上位 5 件

Table 4 Top 5 of cache hit rates in the data size.

ヒット率 (%)	転送量 (GB)	日時
82.42	0.005	12/7 11:46
52.61	0.010	12/6 13:56
49.89	0.073	12/6 16:06
44.92	0.414	12/7 16:41
44.18	0.030	12/8 11:56

表 5 転送量合計 上位 5 件

Table 5 Top 5 of the transferred data size.

転送量 (GB)	ヒット率 (%)	日時
5.864	0.11	12/7 11:31
5.762	0.05	12/8 11:36
3.274	0.19	12/6 13:36
3.224	0.18	12/7 11:36
3.204	0.25	12/6 13:06

キャッシュヒット率の上位 5 件について、当該時間帯 (5 分間) の転送量合計を示している。キャッシュヒット率の最大値は 80% を超えており、無視できない数値を示しているが、これらの場合の転送量はいずれも少なく、一般的かつ安価に調達できるアクセス回線の帯域に対して転送量は十分に小さいといえる。表 5 は、5 分間の転送量合計の上位 5 件について、当該時間帯の転送量ベースのキャッシュヒット率を示している。転送量が多い時間帯はあるものの、キャッシュにほとんどヒットしていないことが分かる。以上から、3つの指標いずれについても、プロキシサーバ機能を排除することによる懸念は認められない。

次に、3つの指標のそれぞれ上位 5 件について、最も脅威となる可能性がある時間帯の詳細を分析することで得られた知見を述べる。表 3 の 5 件で最も転送量が多かったのは 1 日目の 12/6 13:11 からの 5 分間 (図 2 の\*1) であり、接続数と転送量のいずれにおいても、WISS 2017 のプロシードイングスと Windows Update サーバへの接続が上位を占めていた。会議のオープニングでネットワークアクセスや各種資料のダウンロード方法が案内されている時間であることや、長距離を移動してきた参加者のノート PC がインターネットアクセスを得たタイミングであることを考慮すると、これは会議開始の時間帯に特有の状況であるといえる。容量が大きいファイルはたかだか 50 MB 程度であり、接続数についてはたかだか 3 と少なく (ファイル容量は 20 MB 程度)、アクセス回線の帯域圧迫を軽減するという観点ではプロキシサーバは効果的には働いていなかった。表 4 の 5 件で最も転送量が多かったのは 2 日目の 12/7 16:41 からの 5 分間 (図 3 中の\*2) であった。この時間帯は 1 日目および 2 日目の登壇発表について参加者が投票を行う時間であり、接続数が 150 件を超えた URL はすべて投票用 Web サイトのものであった。転送量が多かったの

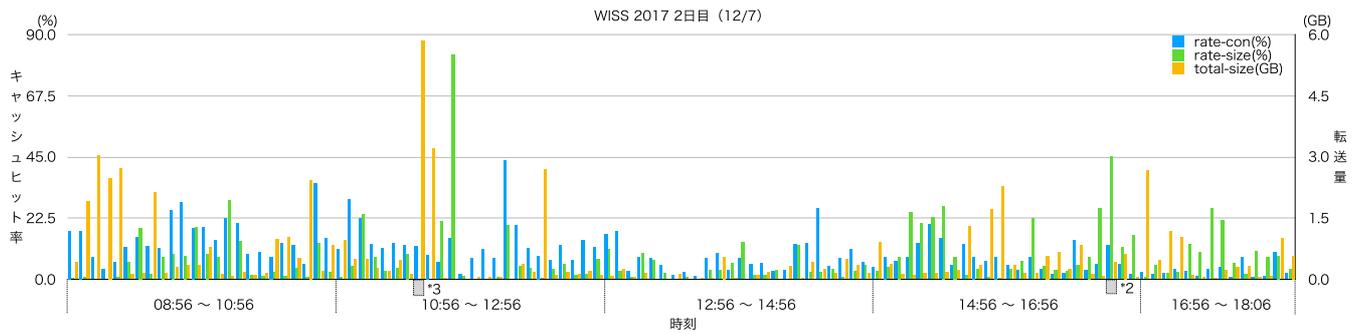


図 3 2日目のキャッシュヒット率とデータ転送量  
 Fig. 3 Cache hit rates and transferred data size (day 2).

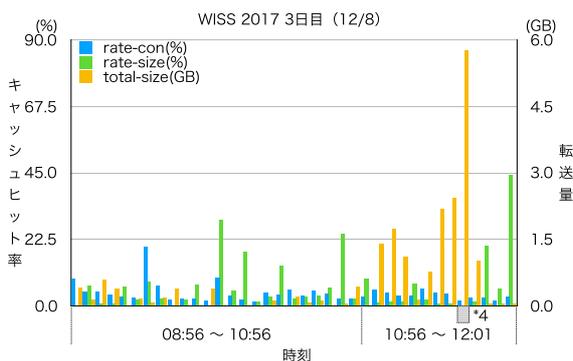


図 4 3日目のキャッシュヒット率とデータ転送量  
 Fig. 4 Cache hit rates and transferred data size (day 3).

は発表内容に関連するとみられる動画ファイルで、1 ファイルあたり 20 MB 程度であった。表 5 の 5 件のうち、上位 2 件は転送量が 5 GB を超えている。これらはいずれも、macOS のアップデートとみられる約 5.5 GB のファイルを単一の端末が 1 度ダウンロードしているだけであった。

最後に、会期中のプロキシサーバへの接続数と転送量の最大値について考察する。接続数合計の最大値は、2 日目の 12/7 17:06 に記録された 24,433 であり、これには HTTP 以外の接続は含まれない。会期中の RTX1210 の NAT テーブルエントリ数が前述のとおり最大 16,000 (推定値) と仮定して、プロキシサーバへの接続数と合わせても、接続数の最大は約 40,000 であり当該機器の上限である 65,534 に対しては十分に余裕がある\*5。また、転送量合計の最大値は表 5 に示したとおり約 5.9 GB であり、これは図 1 で観測点として示した箇所を観測した最大値である。プロキシサーバ機能を排除した場合、このトラフィックは RTX1210 を経由してインターネットへのアクセス回線に加算されると見なすことができる\*6。この転送量を 5 分平均にならしたとすると、当該時間帯におけるアクセス回線のトラフィッ

クには約 155 Mbps が加算される\*7。この数値は、1 Gbps のアクセス回線に対して約 16% を占めるため無視できないものであるが、図 2、図 3、図 4 および表 5 に示したとおり、このようなスパイク的な負荷は会期中において非常に稀であり、会議運営に支障を発生させるほどアクセス回線を圧迫するとはいえない。WISS のような中規模のイベントネットワークにおいては、通信速度のような QoS の一時的な低下は参加者に受容されるものであり、QoS を高く維持する必要性は低い。また、品質を比較的高く保つ必要がある動画中継については、参加者とは別のインターネット接続回線を割り当てており、参加者のバースト的なアクセス増加が影響を及ぼさない設計としている。

以上の検証より、プロキシサーバを排除しても、アクセス回線への負荷は脅威とならないという仮説は支持されたといえる。

## 5. 無線 LAN の構築と運用

WISS では伝統的にシングルトラックの登壇発表形式を採用しており、200 人規模がメイン会場である 1 部屋に集中して発表を聞きながら、会場内のチャットで頻繁に議論をしている。チャットではスクリーンに投影された映像を配信することもあり [1]、会場内のアクセスネットワークに対する負荷は高い。会期前日の事前準備ではこうした輻輳の状況は発生せず、会期中に負荷がかかると急速に無線 LAN の性能が劣化し、ネットワークに接続できないという苦情が発生することになる。この解決策として、仕様で示された接続台数まで性能劣化なく処理可能な AP を選定することとした。また、3.2.2 項で述べたとおり、メイン会場の大きさや形状、施設内での会場配置は大きく変わらないことに着目した。我々は仮説として、上記のような性能の AP を利用した以下のような方法により、非ネットワーク運用経験者でも安定した無線 LAN を提供可能ではないかと考えた。

\*5 16,000 という NAT テーブルエントリの数にはプロキシサーバから外部への接続数も含まれるため、実際には約 40,000 よりも少ないといえる。

\*6 接続数の議論と同様に、実際に加算される負荷はこれより小さい。

\*7 プロキシサーバのログにはダウンロード終了時に記録されるため、5 分以上かけてダウンロードされた可能性もあり、その場合はより低速となり、脅威の程度はさらに低くなる。

- 会期前に GUI 画面を利用して設定の投入を行う。
- AP を必要十分な数だけ会場内に配置する。
- 負荷状況として AP ごとの接続端末数をリアルタイム監視する。
- 事前設定した予備 AP を必要に応じて追加配置する。

本章では、WISS 2017 で実際にこの方針に基づいて無線 LAN を設計・構築して運用を行った結果を通じて、この仮説の妥当性を検証する。

### 5.1 使用機器の選定と構築

無線 LAN の AP は、機器の設定と設置にかかる負担、チャンネルの有効活用といった観点から、1 台あたりの接続台数が多く、かつ、上限の台数まで性能を維持できる機器を用いて、必要十分な台数で運用することが望ましいと考えた。ヤマハ社製 WLX302 は仕様で示された接続台数が 5GHz 帯および 2.4GHz 帯でそれぞれ 50 台であり、また、その上限台数まで性能が維持できることを実際に確認したと本社担当者から説明を受けた。我々は、WISS 2016 において同社から借用した機器により接続実験を行い、AP 1 台あたり 40 台の端末が接続した状態で問題なく動作したことを確認しており、WISS 2017 ではこの上位機種である WLX402 により無線 LAN を構成することとした\*8。

WISS 2016 での実験に基づいて、5GHz 帯で最大 200 台、2.4GHz 帯で最大 100 台の接続を想定することとし、余裕をみて合計 5 台の AP を設置するとともに、コールドスタンバイとして予備の AP を 1 台用意した。会場内の AP 設置位置を図 5 に示す。図中で NOC と示した場所には図 1 で示したルータ 3 台を設置し、そこから L2 スイッチを介して各 AP へ LAN ケーブルを配線した。図中の AP2-3 は予備の AP であり、会期中に追加で設置した。詳細は後述する。

WISS における各サブネットは /16 (255.255.0.0) に分割されている。無線 LAN においては 5GHz 帯での最大接続数の想定は 200 台であり、1 つのサブネットではカバーすることも可能だが、ブロードキャストやマルチキャストによる輻輳の可能性を考慮し、2.4GHz 帯は 1 サブネット (1 つの SSID を使用)、5GHz 帯については 2 サブネット (2 つの SSID を使用) に分割することとした。2 つの SSID は同時に使用しており、会場前方に配置した AP (図 5 の AP1-1 および AP1-2) と会場後方に配置した AP (図 5 の AP2-1, AP2-2 および AP2-3) にそれぞれ割り当てている。利用者には、自身の着席位置に応じてより近い方を選択するよう依頼した。使用するチャンネルについては、過去の製品の接続性を重視し、W52・W53 のみを使用し、W56 は不使用とした\*9。実際に使用するチャンネルは、会場の状況

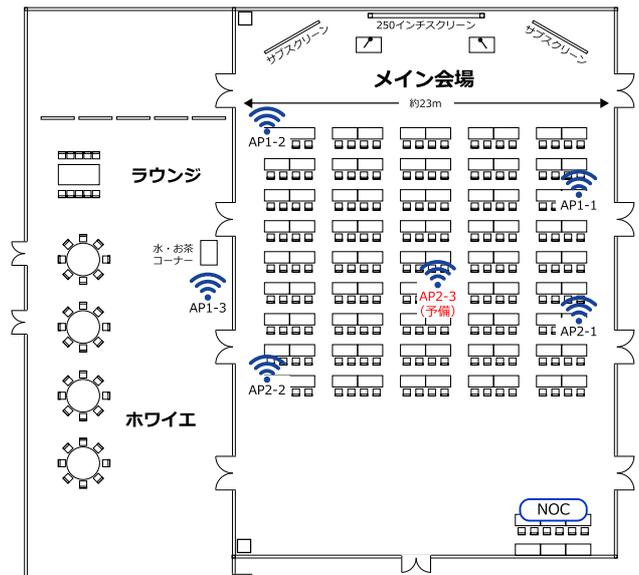


図 5 無線 LAN AP の設置場所  
Fig. 5 Setup of the wireless LAN APs.

が把握できていない可能性と、無線アナライザ等の調査用機器を持たず、無線 LAN 運営の知識もない非ネットワーク運用経験者を想定し、「自動」の設定とした。

AP の設定にあたっては、非ネットワーク運用経験者による実施を想定して下記のポリシーで行った。

- AP の事前設定はすべて GUI 画面のみを使用する。
- 運営委員である担当者が基本的な設定を決めたうえで、実作業は学生ボランティアが実施する。
- ただし、AP のログを収集する syslog サーバと、接続端末数を集計するスクリプトのみ、担当者により設定と運用を実施する。

工数と設定ミスリスクを低減させるため、WLX402 が有する「無線 LAN コントローラー機能」を使用した。直接設定を投入した AP がマスタ、残りの AP はすべてスレーブとなり、マスタからスレーブへ設定が同期される。

AP ごとに接続されている端末数をリアルタイムに監視することで、無線 LAN に接続できないトラブルが発生する可能性を素早く発見するため、NOC に設置する管理用 PC で syslog サーバを構築し、各 AP から syslog を集約するよう設定した。同 PC 上で簡易的なスクリプトを動作させ、集約したログから各 AP における端末の接続・切断を抽出して接続台数の監視を可能にした。スクリプトが処理する具体的なログの形式を図 6 に示す (図中では各 1 行のログを折り返して掲載している)。スクリプトはログの 1 行に現れるアクセスポイントの MAC アドレスと、associated および disconnected の文字列に基づいて接続端末数を計数するというシンプルな実装である。

### 5.2 AP ごとの接続端末数の推移

WISS 2017 の会期中の無線 LAN への接続端末数の推移

\*8 WLX302 は生産終了となっていたため。  
\*9 W56 は 2007 年以降に使用可能となったため、それ以前の機器は接続できない。

接続時

```
2017/12/06 XX:YY:ZZ 192.168.100.242 <14>
[80211] <0105> STA (xx:xx:xx:xx:xx:xx)
associated. | AP <yy:yy:yy:yy:yy:yy>
```

切断時

```
2017/12/06 XX:YY:ZZ 192.168.100.242 <14>
[80211] <0113> STA (xx:xx:xx:xx:xx:xx)
disconnected. | AP <yy:yy:yy:yy:yy:yy>
```

図 6 AP への端末接続・切断を示すログの例

Fig. 6 Examples of syslog entries which represent the connection or disconnection of terminals to APs.

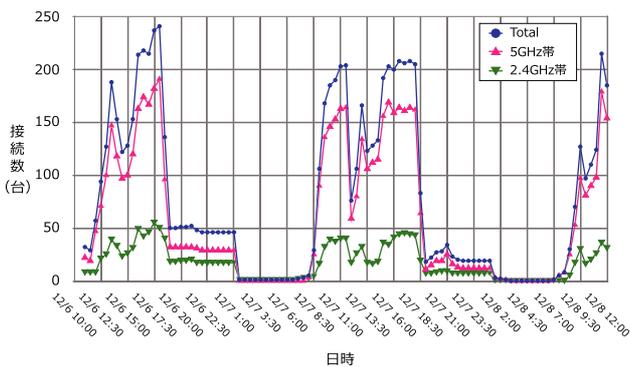


図 7 無線 LAN への接続端末数の推移 (全体)

Fig. 7 The number of wireless LAN clients (total).

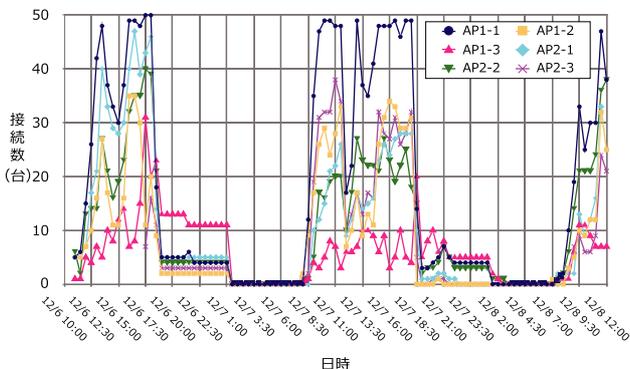


図 8 無線 LAN への接続端末数の推移 (5 GHz 帯)

Fig. 8 The number of wireless LAN clients (5 GHz).

(全体, 5 GHz 帯および 2.4 GHz 帯) を, それぞれ図 7, 図 8 および図 9 に示す. 瞬間で最大接続端末数 246 台 (5 GHz 帯 196 台/2.4 GHz 帯 50 台) の接続があり, 5 GHz 帯に関しては想定した上限に近い端末数となった. 1 日目 (12/6) の 16:30 の時点で, メイン会場内の 2 台の AP は接続端末数が仕様上の上限である 50 台に近づき, 残り 2 台も 35 台が接続されているという状況が発生していた. そのため, 同日 17 時からコールドスタンバイしていた AP を接続し (図 5 中の AP2-3), メイン会場内を 5 台構成とした. AP 追加後の 17:30 時点では接続端末数 40 台以上の AP が 3 台, 18:00 時点では接続端末数 40 台以上の AP が 2 台と接

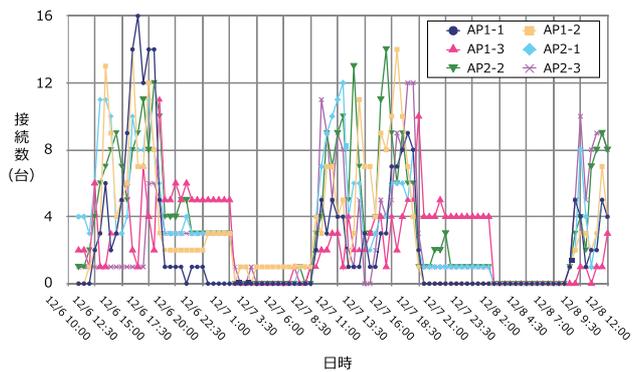


図 9 無線 LAN への接続端末数の推移 (2.4 GHz 帯)

Fig. 9 The number of wireless LAN clients (2.4 GHz).

続端末数 39 台の AP が 1 台, とやや逼迫した状況が継続しているように見える. しかしながら, 16:30 から 18:00 までに 5 GHz 帯の端末数は 17 台増加して 191 台となっており, 追加した予備 AP が増加分を引き受けたといえる. また, 5 GHz 帯の端末数が 191 台となったことは, 当初想定した最大 200 台に近づいていることを示している. AP ごとの接続端末数を監視することで, 余裕がない状況になる前に予備の AP を追加して, メイン会場の AP を 5 台構成とし, 最大 250 台を許容する構成に容易に修正することができた. 一方で, 2.4 GHz 帯は端末数を最大 100 台と設計したが, 実際には 50 台程度しか接続されていない. このことは, 参加者が使用する機器で, 5 GHz 帯を使用可能な機器の利用が我々の想定よりも進んだことを示しており, 相対的に 5 GHz 帯の接続端末が増加したと考えられる.

今回の無線 LAN 構築と運用では, 非ネットワーク運用経験者を想定した設定・構築方法と監視体制を確立した. 非ネットワーク運用経験者が無線 LAN を運用する場合, 無線 LAN に接続できないといったトラブルを未然に防ぐことが重要になる. 接続端末数の観測, 逼迫した状況の認識, 予備機材による対応, その効果の確認という手順を, WISS 2017 で実際に検証することができた. 接続台数を監視するための syslog サーバおよび集計用のスクリプトは一度作成したものを再利用可能であり, 非ネットワーク運用経験者がこれらの構築と運用を習得することは比較的容易と考えられる. 以上のことから, 無線 LAN の構築と監視体制をルーチン化することで, 非ネットワーク運用経験者による運用が可能であるという仮説が支持されたといえる.

今回は, 仕様で示された接続台数まで性能劣化なく処理可能な AP を用意することができた. しかし, イベントによってはより安価で性能劣化をとまなう AP しか準備できない可能性も考えられる. こうした AP では, どの程度の接続台数や通信負荷で性能劣化するかを予測することが難しく, 予備 AP を追加するタイミングを計ることが困難になる. AP の台数をさらに余裕を持って計画することで補うことが必要である.

## 6. 参加者アンケートと負荷試験

3日目(12/8)の11:00から11:20の時間帯に、参加者へネットワークに関するアンケートへの協力を依頼して、54人から回答を得た。このうち49人(90.7%)が「ネットワークトラブルはなかった」と回答した。トラブルの内容についての自由記述では、以下のような報告があった。

- 接続が切れた場合があった(2件)。
- 有線LANで一時的に名前解決ができなかった。
- Googleへのアクセスで『ロボットではありません』の確認を要求された。
- 「トラブルがなかった、というトラブル :-p」。(原文のとおり)

最後の1件はトラブルとはいえ、他は一時的な問題と考えられ、特段の問題なく運用することができたと判断している。また、回答者54人中51人が会期中に「WISS無線LAN」を使用したと回答しており(94.4%)、少なくともWISSにおいて無線LANを運用することの重要性を改めて確認することができた。

また、アンケートと同じ時間帯にネットワーク負荷試験も実施した。WISS参加者には、ネットワークにあまり余計な負荷をかけないよう気遣いながら利用している方も多いため、参加者全体が本当に思うままインターネットアクセスを利用して、無線LANやアクセス回線に負荷をかけるという試験を実施している。この負荷試験は10分弱の時間で実施しており、会場内にいた参加者の数は約130名であった。先にあげたキャッシュヒット率や無線LANへの接続端末数のグラフには、この負荷試験におけるデータも含まれている。図4では、この時間帯にダウンロードを開始したデータ転送が、負荷試験後の時間帯である11:26以降に完了し、グラフに現れていると考えられる。図7と図8では、この時間帯に接続端末数が急増しており、参加者がノートPC以外のモバイル端末等を起動していることがうかがえるが、いずれについても会期中のピークではなく、APの許容範囲に収まっていることが確認された。

## 7. まとめと今後の課題

本論文では、200人規模で合宿形式により開催される学術会議のための、一時的なイベントネットワーク運営において、任期のある運営委員によるボランティア的な活動では持続可能性の観点で問題があることを述べた。そのうえで、非ネットワーク運用経験者が担当の運営委員となる場合を想定し、(1)先行研究で確立したソフトウェアルータによる運用の見直しと、(2)無線LANの構築と監視体制のルーチン化が必要であることを述べた。(1)については近年の中規模ネットワーク向けアプライアンス型機器による集約を目指し、WISS 2017における運用データを根拠として、ソフトウェアルータが有するプロキシサーバ機能を排

除できることを示した。(2)についてはGUI画面のみを利用した設定情報の入力により実運用可能なことと、負荷状況としてAPごとの接続端末数をリアルタイム監視して、必要に応じて予備APを増設することで接続できなくなるトラブルを回避可能であることを示した。

今後はWISS 2018で、図1の破線で示した範囲を実際にアプライアンス型機器群で集約し、プロキシサーバを排除した運用でどのような影響が発生するかを検証する計画である。また、無線LANの運用は会場ごとに公衆無線LANサービス等のチャンネル利用状況が異なることから、ネットワーク運用経験者が運営委員を担当している間は継続して状況の監視と改善を図っていく必要がある。

謝辞 WISSネットワークの運営に協力してくださったWISS参加者の皆様と、運営委員ならびに学生ボランティアの各位に深謝します。

## 参考文献

- [1] 西田健志, 五十嵐健夫: Lock-on-Chat: 複数の話題に分散した会話を促進するチャットシステム, 第13回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2005), 日本ソフトウェア科学会, pp.117-120 (2005).
- [2] 西田健志: チーム対戦型の貢献度提示によりバランスのよい参加を促すチャットシステム, 第24回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2016), 日本ソフトウェア科学会, pp.111-116 (2016).
- [3] 西田健志: 参加人数の多い研究ワークショップに向けた夕食席決めシステムのデザインと運用, 電子情報通信学会技術研究報告(HCS-112-455), 電子情報通信学会, pp.49-54 (2013).
- [4] 後藤真孝: WISS 2010とWISS 2011での改革, コンピュータソフトウェア, Vol.29, No.4, pp.3-8 (2012).
- [5] 中村嘉志, 瀬川典久, 丸山一貴: ソフトウェアルータを用いた学術会議のための一時的なインターネット接続基盤構築の実践~WISSの例~, 情報処理学会デジタルプラクティス, Vol.7, No.4, pp.407-416 (2016).
- [6] 阿部 博, 敷田幹文, 篠田陽一: イベントネットワークにおけるsyslogを用いた異常検知手法の提案と実データを用いた評価, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.1006-1015 (2018).
- [7] 木村達明: Syslog分析による大規模ネットワーク故障診断技術: ネットワーク機器ログデータの活用, 電子情報通信学会誌, Vol.98, No.9, pp.823-828 (2015).
- [8] 小川康一, 吉浦紀晃: 小型コンピュータと画像処理技術を活用したネットワーク機器監視手法の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.1026-1037 (2018).
- [9] Kumatani, N., Isomura, M., Murase, T., Oguchi, M., Baid, A., Sagari, S., Sesar, I. and Raychaudhuri, D.: Throughput Characteristics in Densely Deployed Wireless LANs with Various Channel Assignments and Differing Numbers of Terminals, *ITE Trans. Media Technology and Applications*, Vol.2, No.4, pp.336-344 (2014).
- [10] 北口善明, 石原知洋, 高嶋健人, 田川真樹, 田中晋太郎: Raspberry Piを用いた無線ネットワーク状態評価手法の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-IOT-25, No.8, pp.1-6 (2014).
- [11] Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J., Frystyk, H., Masinter, L., Leach, P. and Berners-Lee, T.: Hypertext Transfer

- Protocol – HTTP/1.1, RFC 2616 (1999).
- [12] Dierks, T. and Rescorla, E.: The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2, RFC 5246 (2008).
- [13] Google: ウェブ上での HTTPS 暗号化—Google 透明性レポート, Google (オンライン), 入手先 (<https://transparencyreport.google.com/https/overview>) (参照 2018-06-17).
- [14] Naylor, D., Finamore, A., Leontiadis, I., Grunenberger, Y., Mellia, M., Munafò, M., Papagiannaki, K. and Steenkiste, P.: The Cost of the “S” in HTTPS, *Proc. 10th ACM International on Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (CoNEXT '14)*, pp.133–140 (2014).



丸山 一貴 (正会員)

1975 年生。1999 年東京大学工学部機械情報工学科卒業，2001 年同大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了，2004 年同大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士課程修了。博士（情報理工学）。電気通信

大学情報基盤センター助教，東京大学情報基盤センター助教等を経て，2013 年明星大学情報学部情報学科准教授，現在に至る。プログラム開発環境やユーザインタフェース，大学における ICT サービスの設計と運用に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会，ACM，IEEE 各会員。



原 貴洋

1978 年生。2001 年慶応義塾大学環境情報学部卒業，同年ヤマハ株式会社入社。部門内ネットワーク管理業務等を経て，2018 年第 1 研究開発部サービスプラットフォームグループ主事，現在に至る。ネットワーク関連のソフト

ウェア開発，またネットワーク上での音楽セッションに関する研究開発に従事。ヒューマンインタフェース学会会員。



中村 嘉志 (正会員)

1971 年生。1994 年神奈川大学理学部情報科学科卒業。1996 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士前期課程修了，1997 年同研究科博士後期課程退学。1997 年電気通信大学大学院助手，2002 年産業技術総合研

究所研究員等を経て，2011 年国士舘大学理工学部准教授，2018 年同教授，現在に至る。博士（工学）。ユビキタスコンピューティングや HCI の研究に従事。電子情報通信学会，人工知能学会各会員。



瀬川 典久 (正会員)

1971 年生。2004 年東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了。博士（情報科学）。1998 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部助手，2004 年同講師を経て，2015 年京都産業大学コンピュータ理工学部准

教授，現在に至る。研究分野はセンサネットワークとその可視化およびセンサ情報を活用したインタラクションであり，主に野外におけるセンサネットワークの研究に従事。電子情報通信学会，ACM 各会員。