

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～

中村 嘉志^{†1} 瀬川 典久^{†2} 丸山 一貴^{†3}

^{†1} 国土館大学 ^{†2} 京都産業大学 ^{†3} 明星大学

学術会議において参加者にインターネット接続サービスを提供することは必須の要件となりつつある。しかし中小規模の会議の運営は、人的および資金的に余裕があるとは言えないため、ネットワークインフラストラクチャの設計と敷設、運用、撤去をネットワーク技術者という観点においてアマチュアである運営委員が行わなければならないことがしばしばである。しかしそれを実践することは必ずしも容易ではない。本稿は、参加者数 200 人規模、接続機器数 400 台規模で、ホテルなど一般の宿泊施設を利用して 2 泊 3 日の合宿形式で毎年一回開催される IT 系学術ワークショップ、通称 WISS での 5 年間の運用経験を基に、会議用の一時的なネットワークインフラストラクチャの構築と運用がなぜ容易ではないのかの背景と理由を学術会議運営の側面から示し、問題点を明らかにした上でその解決法の 1 つとしてソフトウェアルータを用いた方法論と実践結果について述べる。

1. はじめに

学術的な会議や研究発表会など（以降、学会）、時空間が限定されたイベント空間[1]において、インターネット接続のための一時的なネットワークインフラストラクチャ（以降、ネットワーク基盤）を構築して、学会参加者に情報の取得・検索・発信を支援するネットワークサービス提供の必要性が増している。背景の 1 つとして、刊行物のオンライン化[2]や資料のペーパーレス化の推進が挙げられる。事実、本会でも 2009 年度より学会の予稿は原則として全て電子的な媒体に置き換わっている。このような背景の下、イベント空間その場において、インターネット越しに資料を取得したいという要求が増している。また、検索エンジンの普及に伴って、発表や資料内で使われる専門用語や関連情報を、より活発な質疑応答につなげるためにその場で検索したいという要求も一般化した。発表者自身がインターネットアクセスを要望して研究発表時にデモを披露することもある。また、紹介デモシステムを聴衆がその場でダウンロードして試用したいという要求もある。

他方、イベント空間での情報の取得・検索のみならず、SNS などのメディアを通じて参加者が即時性の高い情報をその場で発信し、発表内容やイベントそれ自体を

参加者が自主的に宣伝する行為も行われるようになってきた。それだけに留まらず、公式に主催者側がイベントの活動をインターネット上の様々なメディアを通じて宣伝する試みも行われている。本会でも、現在、学会やコミュニティの活動を動画映像として納め、それをストーリーミング配信して対外的に宣伝していくことを模索している[3]。ストーリーミングを特色の 1 つにしている学会もある[4]。

しかしながら、このような要請に反して、イベント空間で一時的なネットワーク基盤を構築して運用することは必ずしも容易なことではない。主な原因の 1 つとして、実施会場が時空間的に固定しているわけではないということが挙げられる。会場施設に十分なネットワーク基盤が予め備わっていなければ、それを短時間かつ主催者が独自に構築する必要がある。さらにイベント終了後には同様に短時間で撤去して原状復帰させることが求められる。使用機材の運搬にも気を配らなければならない。サービス利用者数が少ない場合には安価で小型な市販機器を用いることでこれらの要求を容易に満たすこともできる。しかし、一定数を超えた場合には、一般に、法人向けの高価な機器調達や専用のネットワーク基盤設計が必要となる。なぜなら、量販店で安価かつ容易に入手可能なネットワーク機器は、家庭での利用を想定して設計

されているため、処理能力と容量の面から機器接続台数が数台程度に限定されている場合が多いからである。

もう1つの原因として、この主題に関する情報不足が挙げられる。参加者が千人を超えるような大規模なイベントの場合には、予算組みに余裕が生じるため、外注によって十分な知識と経験を持つネットワーク基盤の専門業者に業務を委託することもできる。一方、参加者が数百人規模の学会では資金面から業務委託は難しい。このため、運営委員が自らネットワーク基盤の設計構築理論や運用方法論についての知識やノウハウを専門書籍や文献から得ることとなる。しかし、その多くは固定的な場所における長期的な運用を指向したものである。イベント空間ではこれらとは異なった方法論が求められるものの、このことは一般的にあまり知られていない。同様の問題意識を持ってネットワーク基盤構築を実践した報告[5]や専門業者ら技術者集団による一般雑誌記事[6]はあるが、イベント空間での一時的なネットワーク基盤の方法論について、学会運営の側面からそれを一元的にまとめて専門的に提示している学術的文献は、筆者らの知る限り現時点では存在しない。

そこで本稿では、2泊3日の合宿形式で年一回冬に開催され、参加者数200人規模、接続機器数400台規模、ホテルや旅館などの一般宿泊施設を利用して開催会場が毎回異なるIT系学術ワークショップでの5年間の運用経験、特に、直近の2013年と2014年の2年間の成功例とそこに至る失敗例を基に、イベント空間での一時的なネットワーク基盤構築と運用に関する方法論とノウハウをここにまとめて記す。具体的には、日本ソフトウェア科学会のインタラクティブシステムとソフトウェア (ISS) 研究会主催の学術ワークショップ、通称WISSと呼ばれる学会での事例を取り上げる。表1は、WISSの直近2年間の開催状況であり、図1は、会場に設置したネットワーク運営・管理のための施設であるNOC (Network Operations Center) から見た2013年の発表会場の様子である。表に示した接続機器数は、DHCPのMACアドレス数により積算した。本稿により、学術的なイベントの運営委員やネットワークエンジニアを志向する学生、延いては主催者の今後の一助となることを目的とする。

表1 WISSの参加者数と接続機器数

| 開催年 | 会場 | 参加者数 | 接続機器数 |
|-------|---------------|------|-------|
| 2013年 | ザクラウンパレス新阪急高知 | 167名 | 321台 |
| 2014年 | 浜名湖ロイヤルホテル | 182名 | 380台 |



図1 WISS 2013 で構築した NOC と会場の様子 (休憩時)

2. イベント空間での一時的なネットワーク基盤構築の難しさ

2.1 ネットワーク基盤構築の課題

イベント空間では人と環境が固定せず時間的に流動的であることが、ネットワーク基盤構築の困難さの要因である。基本的に人員も会場も初めての試みであり、その場限りの運用であると言っても過言ではない。このため、基盤構築には、可搬性、拡張性、柔軟性をバランス良く満たすことが求められる。ここでは、扱うべき課題を次のように具体的にまとめることができる。

- (1) 人的資源
- (2) 時間的・金銭的なコスト
- (3) 環境変化への対応

(1) については、学会ならではの運営形態の特殊事情による。学術的なイベントでは、基本的にアマチュア人員の体勢で、かつ、運営が委員によるボランティアの上で成り立っている。専門業者へ業務委託をしない限り、担当の運営委員は、会期中の運用作業以外にも、関連技術の事前調査やネットワーク基盤設計、使用機器の調達・管理・保管・運搬に係る負担を負うこととなる。任期制や輪番制などを敷いて一定期間ごとに負担を委員間で分散させる方法を取られることもあるが、その場合には、次の運営委員への引き継ぎもコストとして考えなければならない。

(2) の中で時間的なコストについては、イベント空間ならではの事情が関係する。それは、会場の長期間の借用が困難であり原状復帰の必要性から、ネットワーク基盤の敷設と撤去を現場において短時間で行うことが求められることである。たとえば、本稿で題材にしているWISSの場合は、敷設には開会前の約20時間、撤去には

学会終了後の4～5時間（会場営業時間の半日相当）で作業を完了しなければならないことが多い。このことは、時間を必要な限り使って綿密な打合せと敷設作業が可能な教室など固定された場所での構築のそれとは根本的に異なる要件である。

(2) の金銭的なコストについては、学会では資金が潤沢ではない場合が多いことに起因する。低予算のため、ネットワーク基盤の設計・敷設・運用・撤去の全ての作業を独自に行う必要に迫られる。また、作業の簡略化が期待できる高性能な業務用ネットワーク機器は高価であることから導入が難しい。予算組みを工夫して業務用機器を導入できたとしても、学会開催期間のみに限定された低い利用頻度のため費用対効果を許容できない。また、性能の陳腐化と経年劣化への対策も必要である。1つの解決策として機器のレンタルが考えられる。しかし、(1) で述べたように、運営委員が本務の合間に機器の予習やテストを行うためには長期間の機器借用が不可欠となり、イベント空間においては、必ずしも機器レンタルが現実的であるとは言えない。したがって、(1) と併せて可搬性と拡張性が無視できない。

(3) の環境変化への対応とは、部屋割りなどの会場の物理的環境変化や、参加者の人数や性質などの人的環境変化だけでなく、アプリケーションが前提とするネットワークの環境変化もそれぞれ取り扱わなければならないということである。前回の運用方法が必ずしも今回も同様に適用できるとは限らない。近年では、スマートフォンの普及やクラウドサービス化が環境変化の例として挙げられる。このような変化に伴って、ネットワークに対する要求や負荷はその都度変化する。一見すると緩やかな変化であっても、イベント空間は時間的に離散的であるため、前回からの変化の蓄積が相対的に大きな変化となって表面化することもある。現場で運用してみて初めて変化に気づくことも珍しくない。ひとたび障害が発生した場合には、時空間が限定されているために即時かつ柔軟な対応が強く求められることとなる。このため、速やかに障害箇所を特定していざという時に障害範囲を最小限に食い止められるような工夫がネットワーク基盤の設計と運用にも求められる。他方、会場が前回と同じであるとは限らないことから、下見と打合せ、必要に応じて会場との折衝が求められる。会場の基盤設備を借用する場合には、定められているセキュリティポリシーが学会の運用に合うかどうかの確認と対策も行わなければならない。もしそのポリシーや帯域の問題でそれが使用できない場合には、対外接続回線を確保するために通信事

業者との打合せも必要となる。このように、ネットワーク基盤に対してだけでなく運営委員の活動に対しても柔軟性が強く求められることとなる。

2.2 ルータ機器への要求仕様

IPv6の普及がまだ定着していない現状では、IPv4プライベートネットワークを基に現場に構築したイントラネットをインターネットに対外接続する方策が取られる。このとき、IPアドレスだけでなくTCP/UDPポートも含めて変換するNAPT機能[7]を用いることとなる。対外接続を担うのはルータであるため、ルータ機器におけるNAPTとしての役割が極めて重要な要素となる。

イベント空間で利用するルータ機器を選定する際に考慮すべき要件は、以下のようにまとめることができる。

- (1) 同時利用端末数
- (2) 対外接続回線の帯域
- (3) ルータ機器の物理的諸元：大きさ・重さ・消費電力
- (4) 構成のシンプルさと設定の容易さ

(1) について重要なことは、NAPTテーブルの消費総数を試算することである。厳密には、アプリケーションが同時に確立しようとするTCPセッションの総数を知る必要がある。しかしながら、非決定的なアプリケーションの動きを予測することは不可能である。そのため、“端末数×係数”によって、同時に確立され得るTCPセッション総数を近似する。たとえばWebブラウザは、高速化のためHTML参照タグ全てを先読みしようとすることもある。その結果、1つのWebページを開くだけで20本近くのTCPセッションを1つのアプリケーションが同時に確立しようとすることも珍しくはない。ネットワークを安定運用させるためには、NAPTテーブル数がネットワーク基盤全体で同時に使用され得るTCPセッション総数よりも多く実装されたルータ機器を選定する必要がある。WISSでは、これまでのところ係数として経験則により50を用いている。

(2) については、回線の帯域幅が広い方ではなく、むしろ狭い方に注意する必要がある。開催地域によっては十分な帯域幅を持つ回線を利用できないこともある。たとえば光ファイバ回線が利用できたとしても、上流NOC局の設備によっては、物理層から予想される帯域よりも大幅に狭い実効帯域しか提供されないこともある。また、ベストエフォートのため時間帯によって回線が混雑してスループットが低下する場合もある。実効帯域がイベントの要求よりも狭い場合、複数の回線を束ねるリンクアグリゲーション機能や回線間で負荷分散を行うロードバ

ランシング機能がルータに必要となることがある。そして、これらの機能を持つ専用ルータ機器は、現在のところ極めて高価である。

イベント空間では、機器の運搬と敷設、撤去も課題である。現場で利用可能な電力に上限があることも珍しくない。このため、ルータ機器への要求仕様は価格だけでなく、(3)に挙げた大きさ・重さ・消費電力の物理的な諸元についても考慮する必要がある。一般に、安価な機器は小型で軽量、低消費電力であるものの、性能も低い。そのため、結果的に多くの機器が必要となって総体としては見込みに反してしまふことがあり得る。それでも、人的労力をかける、たとえばネットワーク構成やトポロジの工夫によって性能を補完することは可能である。しかし、前節で述べたように、担当運営委員は基本的にアマチュアかつボランティアである。次期委員への引き継ぎの必要性和(4)に挙げた要素も関係して、複雑な構成に対して設計や敷設、運用に労力をかけることは得策ではない。構成が複雑化すると、ひとたび問題が発生したときにその解決も困難になりがちである。

2.3 ネットワーク基盤への要求仕様：WISSの場合

WISSの特色でもあり、ここでのネットワーク基盤構築と運用の困難さは、インターネットに対する対外的な通信だけでなく、会場のイントラネットに置かれたテキストチャット[8]や夕食の席決め[9]などの学会の進行を支援する各種実験的なデモ[10]によって、頻繁なローカル通信も許容できるようにすることが求められている点にある。参加者のネットワーク基盤への依存度は必然的に高くなるため、接続方法として、外部からの影響を受けて不安定になりがちな無線LANだけでなく、有線接続を伝統的に主として提供している。

以上を基礎とし、ここでは、WISS 2013および2014で、実際に運営委員会から挙げられたネットワーク基盤に対する要望を実例として記す。WISSでは、2010年に運営面で大幅な改革が行われ[4]、その中で現在も踏襲されているネットワーク基盤に関係した方針は以下の通りである。

- 登壇発表やデモの様子を会場外へ動画ストリーム中継
 - SNSによる会場外からのコメントの反映や質疑応答
 - 会場内での各種実験的な学会支援システムの動作
- また、限定的な特別措置として以下も挙げられる。
- インターネットビデオ会議による遠隔登壇発表
- これらの他、WISS 2013での特別な試みとして、参加者

が講演の聴講に集中してもらうことを目的として、登壇発表が行われている最中は参加者のインターネット接続を遮断することが求められた。ただし、遮断はインターネットに対してのみで、イントラネットの通信には悪影響がないこと、また、遮断は一時的なもので登壇発表終了後には速やかに復帰させること、学会の運営に関わる委員やシステムの対外通信は例外とすることが求められた。

ネットワーク基盤関連の予算は、現在のところ、年度あたり約20万円である。会期中は参加者のほぼ全員が持ち込みのPCやタブレットをネットワーク基盤へ接続する。デモ発表は、1日あたり15～20件で会期中約50件、そのうちの一部がネットワーク基盤への機器接続を希望してインターネットに対する通信だけでなく、L3サブネットを越えて会場内LANであるイントラネットに対しても通信することがある。なお、L3はOSI参照モデルにおけるLayer 3の略でネットワーク層の意であり、L2は同様の略語でデータリンク層の意である。

3. ソフトウェアルータ

ネットワーク基盤に求められる可搬性、拡張性、柔軟性の要素をバランス良く満たす1つの方策として、WISS 2013および2014では、メインのルータとして汎用PCを用いたソフトウェアルータ、具体的にはVyatta無償版を活用した。Vyattaは、米国Vyatta社によってLinux OSをベースに開発されたソフトウェアである。汎用のPC上で動作し、ネットワーク処理に特化した専用回路としてのASIC (Application Specific Integrated Circuit) は不要である。デバイスドライバが対応していればどのようなNIC (Network Interface Card) でも利用することができる。有償版と無償版が存在し、Vyatta Coreと呼ばれる無償版は非営利目的であれば自由に利用することができた。しかし、現在は無償版の開発は中止されている。代わりに、2013年後半より、無償版がVyOSと名称が改められ、オープンソースにて開発が継続されている。

Vyattaと同等の機能はLinux OSとiptablesの活用によっても実現可能である。しかし、システムがパケット処理に最適化されていること、各種設定が分散せず一元的になっていて統一性と一覧性が高いことがVyattaの導入理由である。

イベント空間で汎用PCを用いたソフトウェアルータを用いる利点は、以下のようにまとめることができる。

複数のネットワーク関連機能を1台に集約可能

DNSやWebプロキシなど、ネットワークに関連し

たサービスアプリケーションも同一の汎用PCの上で共存動作させることができる。

機器を別の用途に流用可能

汎用PCで動作するという事は、別の用途で使用していたPCを流用してルータとして扱うこともできるし、その逆もまた真である。すなわち、学会で機材を購入しなくても、運営委員が所有するPCをルータとして流用することもできる。

高度な機能を安価に利用可能

リンクアグリゲーションやロードバランシングなどの高度な機能が必要になった場合でも、ソフトウェア実装であることから後から機能を追加することができる。また、ハードウェアについても機能増設が可能である。たとえば、拡張規格対応のNICも後から増設することができる。

ソフトウェアルータは、専用ルータ機器に比べて拡張性と柔軟性の面では優れているが、可搬性と、4.5節で後述するような信頼性の面では必ずしも優れているとは言えない。また、ソフトウェア処理である分、一般にレイテンシが大きい。しかし、イベント空間では個々のレイテンシよりも全体のスループットが優先される。一番の要求が参考文献等の確認といった数Mバイト程度のファイル転送をできる限り速く行うことだからである。かつての汎用PCではネットワーク処理に対するスループットは高くはなかったが、近年の処理性能向上に伴って対外接続回線に対して十分な量が得られるようになった。したがって、低予算運営と性能の陳腐化対策、現場での柔軟な対応が求められる学会での運用には、ソフトウェアルータは現時点では最適であると言える。

4. WISS 2013, 2014 でのネットワーク基盤

4.1 設計

WISS 2013 および 2014 では、以下の設計方針を立てた。

- 動画中継用と一般接続用の2系統の対外回線を用意
- 中継用には信頼性を重視して専用ルータ機器を活用
- 対外トラフィック量を少しでも抑制するため透過型Webプロキシを導入してキャッシュ機能を活用
- L2ブロードキャストの影響範囲を局在化させるために複数のL3サブネットに分断
- 目視確認ができるようにVLANなどの仮想化技術を排除

上記方針を踏まえ、設計・敷設・運用したネットワーク基盤のトポロジを図2に示す。ソフトウェアルータを中心として木構造のトポロジを取り、イントラネット通信を実現するために2つのルータ間の橋渡し経路を1つ有する。

2系統の対外接続回線のうち1系統に専用ルータ機器を用いることにより、動画中継における信頼性を担保できる他、敷設作業の早めの段階でインターネット接続による情報検索手段の確保によって細かな設定や問題解決手段に関する情報を得られる利点がある。また、複数のL3サブネットに細かく分ける理由は、4.2節で後述するブロードキャスト・ストームに対する対策と、トラブル発生時に目視確認して物理的にケーブルを抜くという簡単な作業で問題のL3サブネットのみを切り離してネットワーク基盤全体への悪影響を最小限に留められるからである。

なお、図2で示したように、ここでは各サブネットの端末数上限の目安を50にしているが、これは管理上の理由による。WISSでは会場の座席レイアウトが4列になることが多く、参加者200人規模では1列あたり約50人となり、この数値を目安として座席の列ごとにサブネット

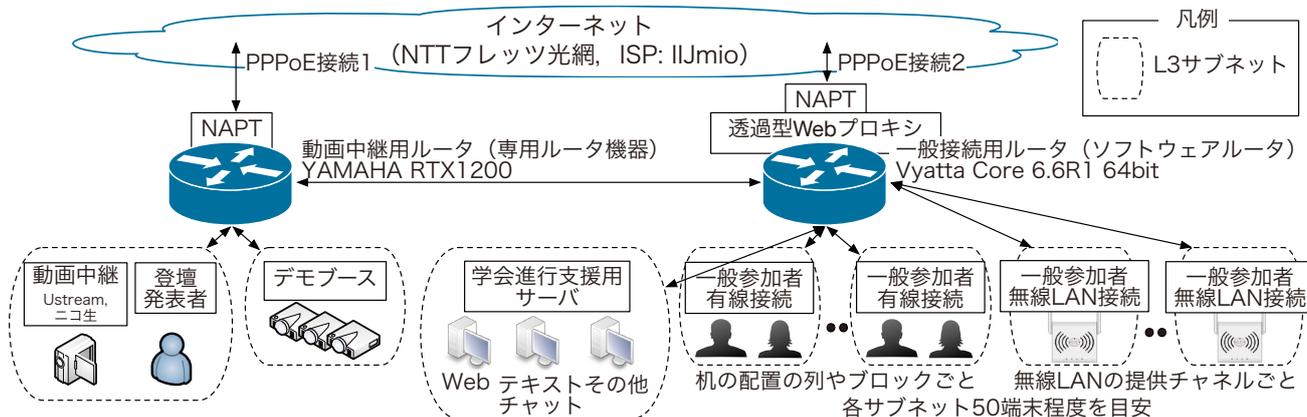


図2 WISS 2013, 2014 での基本ネットワークトポロジ

を管理している。利用状況によって異なるため1サブネットワークあたりの上限数を正確に述べることは難しいが、4.2節で扱う2011年の不具合は1サブネットワークあたり約350台の端末数で発生したという事実を挙げることができる。もし参加者が増えた場合には、ソフトウェアルータであることを活かしてNICを増設することで、サブネットワークごとの収容台数を増やすよりはサブネットワークの新設によって管理の容易性を保って安全に参加者の増加に対応することができる。

4.2 設計に影響を及ぼした過去の失敗例

WISSでは、2010年の改革によって、これまで以上に会場でのネットワーク基盤が重要となった。しかし2011年には、これまでの方法論では対処できない大きなトラブルに見舞われた。結果として、2012年からはネットワーク担当運営委員を1名から2名に増やし、ネットワーク基盤に対する設計と運営方針を再検討することとなった。ここでは、2011年に発生し、本稿対象の設計と運用に大きな影響を及ぼした不具合を失敗例として述べる。

2011年に起きた問題は、ブロードキャスト・ストームである。前年の2010年までは、NAPTテーブルの枯渇問題は起こっていたものの、ネットワークそれ自体、少なくともLANがほぼ使用不能な状態になるような事態は発生していなかった。このため、2011年もこれまでの設計方針を踏襲して、1つのL3サブネットワークに有線/無線接続を収容するようなフラットなトポロジ設計と運用を行っていた。これは、ネットワーク担当運営委員1名で対処可能な作業量とのバランスを取った結果でもある。

ある種のクラウドサービス型アプリケーションは、同アプリケーションの別の利用者が近傍にいるかどうかをブロードキャストを使って探索することがある。1つのサブネットワーク、すなわちブロードキャスト範囲内に多数の端末が繋がっている状況下で、多くの利用者がそのアプリケーションを使用していた場合、ブロードキャストがさらに次のブロードキャストを呼ぶような、パケットの嵐(ストーム)のような事態がネットワーク内で発生する。また、1台の端末を有線と無線の両者に接続した場合、フラットなトポロジゆえ、利用者の端末の設定によっては当該端末の有線と無線間でループが成り立ってストームをさらに助長させることもある。

イベント空間では、運営委員だけでなく利用者也ネットワークに精通しているとは限らない。専門的な知識の下でネットワーク基盤を行儀良く利用してくれるとは限らないし、特殊な挙動を示すデモ機器を不用意に接続

してしまうこともある。事実、WISS 2011では、パケットアナライザを用いて不具合の原因と思いき複数の端末MACアドレスは特定できたが、それらのベンダコードを調べても一部は一般的なPCのそれとは異なるものようであった。また、セッション終了後に当該MACアドレスを通知して参加者全員に対して原因究明と対策の協力を求めたが、名乗り出てくれる者は誰一人居なかった。アナウンス直後には当該MACアドレスを持ついくつかの端末はネットワークから見えなくなって不具合も収束したため、原因の一部を担っていたことを当人たちは気づいたものと思われる。

このように、イベント空間では、インフラストラクチャに対する利用者の協力意識が低いこともある。したがって、不具合に対する予防的な措置と、時空間が限定されていることも併せて担当運営委員がその場での事後対応と復旧を可及的速やかに行うことができるよう設計を工夫する必要がある。L3サブネットワークを細かく設けて影響範囲を絞ること、目視や物理的な行為によって原因と思われる箇所を容易に切り離せること、2系統以上の対外接続回線により冗長性を持たせること、これらの設計方針はイベント空間、特にWISSのようなデモ機器や動画中継、学会支援システムが混在するネットワーク基盤では必須の方法論である。

4.3 機器構成

WISS 2013および2014のネットワーク基盤は、全数量販店で調達可能な機器を用いて構築した。表2に機器構成を示す。表中、ルータ1は図2で示した動画中継用ルータのことであり、ルータ2は一般接続用ルータである。HUBはスイッチングハブを、PoEはPower over Ethernet機能を携えたスイッチングハブを、WLANは無線LANのアクセスポイントを、ケーブルはLANケーブルのことを表している。PoEは無線LAN機器への給電に用いた。

表2 WISS 2013, 2014 ネットワーク基盤の機器構成

| 用途 | 使用機器名 |
|------|---|
| ルータ1 | YAMAHA 製 RTX1200 |
| ルータ2 | 汎用PC (Core i7 3960X-3.3GHz 6cores 12threads, 32GB Memory, 256GB SSD) OS: Vyatta Core 6.6R1 64bit NIC: Intel 製 I350-T4 1Gbps 4ポート×3枚 |
| HUB | NETGEAR 製 GS116E × 4台 BUFFALO 製 LSW-TX-8NP (10/100M) × 8台 同 LSW-TX-8EP (10/100M) × 32台 同 LSW-TX-8NS (10/100M) × 4台 (2014年のみ) |
| PoE | BUFFALO 製 BS-POE-G2116M |
| WLAN | BUFFALO 製 WAPM-APG600H × 4台 |
| ケーブル | 約60本, 総延長約900m |

LANケーブルについては、会場の平面図と机や椅子のレイアウト図を会場側から取得し、事前に配線計画を練って適切な長さのケーブルを購入した。一部足りないケーブルは、任意の長さになるよう自ら長さ調整をした。表中では、NOC内で使用した1m以下の短いLANケーブルは除外している。

LANケーブルの配線以外に電源の配線も行ったが、それは本稿の主題から外れるので詳細の記述は省略する。概要としては、デモと合わせて約400台もの機器が電源にも接続されるため、10kWを基準として会場側の担当者と相談して仮設にて電源を増設した。

4.4 登壇発表時のインターネット接続の遮断

WISS 2013で特別に実施された2.3節の登壇発表中の遮断は、IPレベルではなくDNS名前空間に細工を施すことにより実現した。イントラネット内に再帰問合せDNSサーバを用意してこのサーバ以外へのDNSクエリを禁止しておき、遮断有効時には全てのDNSクエリに対して1つのIPアドレスを結果として返すようにした。PPPoEの接続自体を切断して文字通り完全にIP通信を遮断しなかった理由は、再接続に時間がかかること、NAPTの挙動が不安定になる可能性があったこと、遮断は手段であり目的は講演の聴講に集中できる環境作りであったことが挙げられる。

4.5 その他のトラブル

WISS 2014では、環境変化に伴う2つの問題が現場で発生した。1つはドメイン名に関係した問題である。これまで、イントラネット内のドメイン名としてwiss2013.localのような名前を用いていた。ところが、Apple製Macintosh PCに搭載されたその時点で最新

OSのOS Xバージョン10.10では、.localドメイン名は特殊扱いに変更され、DNSサーバに名前解決のクエリを発しなくなった。このため、イントラネットに対する通信が思うようにできないという報告が現場で多く寄せられた。

もう1つは、PPPoE接続に伴うルータのMSS (Maximum Segment Size) 設定に関する問題である。通常は、MTU (Maximum Transfer Unit) のパラメータと共にMSSも自動調整されるのだが、ある条件下ではこのMSSが自動設定されなかった。これは、Vyatta Core 6.6R1、および、その派生版でその時点で最新のVyOS 1.0.4にも内在していた問題であった。全く通信ができないわけではなく、TCPセグメントの分断化を伴うある特定の通信相手に対してのみ限定的に影響が及ぶという厄介なものであった。

このような問題は、現場環境で初めて表面化する。特に後者のMSSに関係した問題は、致命的でありながら限定的な現象であったので、原因究明と対策を講じるまでに現場で極めて多くの時間を費やすこととなった。

5. 実践結果と議論

5.1 ルータのトラフィック量とNAPTテーブル消費量

ネットワーク基盤の運用概略を表す指標のうち、ルータのトラフィック量とNAPTテーブル消費量を示す。これらは、それぞれの機器から統計情報として取得したものをまとめたもので、動画中継用の専用ルータ機器RTX1200に関しては当該機器に搭載された機能を使って12分間隔の平均値として、また、ソフトウェアルータVyattaに関してはネットワーク資源監視ツールMuninを用いて5分間隔の平均値として取得したものである。

図3に、対外接続回線のトラフィック量をグラフで示す。図中、左列がWISS 2013のものであり、右列が

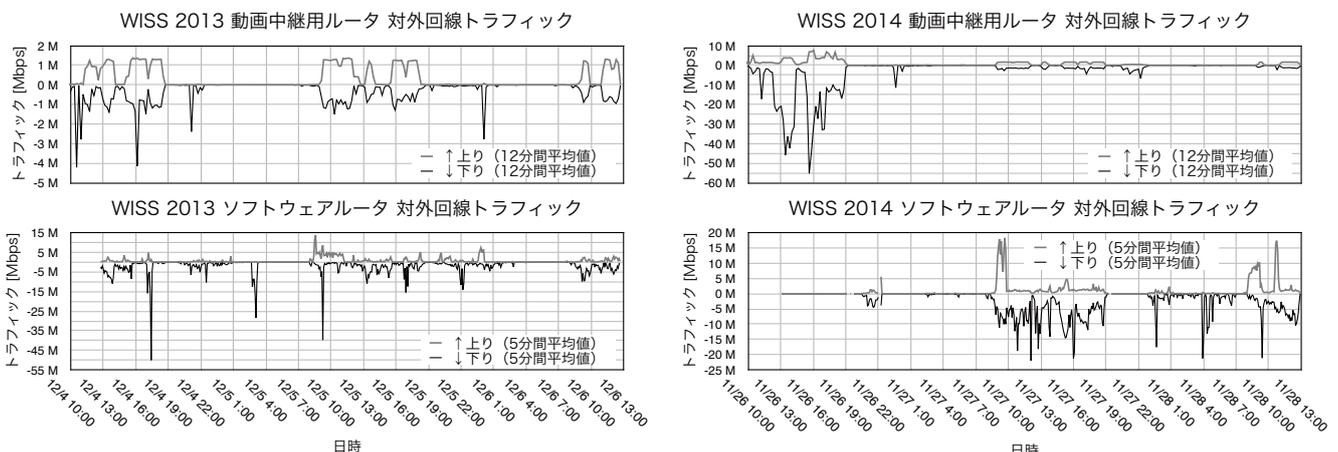


図3 WISS 2013, 2014での対外接続回線のトラフィック量

2014年のものである。どちらもNTTのフレッツ光網を利用し、ISP (Internet Service Provider) はIImioである。縦軸のスケールが4つのグラフそれぞれで違うことに注意されたい。横軸は、2泊3日の開催期間のうち、参加受付開始の午前10時から閉会約30分後の午後1時までとした。なお、ソフトウェアルータの最初のトラフィック量がどちらも欠損しているのは、全体の安定性を最優先にして敷設作業を進めたため、統計情報の取得設定作業がこれに間に合わなかったためである。

WISS 2013では、ソフトウェアルータの下り方向のトラフィック量に急峻なスパイクが所々に見られる。これは、登壇発表中にインターネット接続の遮断を行った影響で、遮断解除後にアクセスが集中したことが要因と考えられる。

WISS 2014では、当初ルーティングの設定を間違えてしまい、本来ソフトウェアルータを経由して会場外に出るべきパケットが、設定を修正する11月26日の19時ごろまでは全て動画中継用ルータを経由することになってしまった。この誤りに対する不満や苦情は利用者からは特に聞かれなかったが、全ての通信処理を受け持ったその時の動画中継用ルータの負荷は平均して90%を超えており（ピーク時99%）、ほぼ性能限界の通信量と接続数に達していたことが、奇しくも誤りにより明らかとなった。一方、ソフトウェアルータに関する負荷は、表2の汎用PCの組み合わせでは、CPU負荷が終始1%未満であった。

なお、動画中継用ルータ経由の対外通信には透過型Webプロキシは設置していなかった。ルーティングを修正した前後のトラフィック量を比較すると、修正後ではこれが抑制されていることがグラフから見て取れる。これは透過型Webプロキシのローカルキャッシュが目論見通りに有効に働いた結果であると考えられる。ただし、その時々で利用者数や通信内容、キャッシュヒット率も異なるので、抑制度の数値化はこの統計情報からはできない。

NAPTテーブルの消費量について、表3に、開催年ごとの最大値を示す。ただし値は、5分間の平均消費量の最大値であり、ピーク値ではない。それが取得可能な専用ルータ機器の統計情報によると、WISS 2014のルーティング修正前の値で、ピーク値は13,225であった。また、動画中継に関する帯域については、配信先としたUstreamとニコ生の2箇所の合計は、上り方向で1.3～1.7Mbpsであった。

5.2 アンケート結果

利用者に対して、利用状況についてのアンケート調査を実施した。WISS 2014の最終日（3日目）に調査協力を依頼し、その時点で会場に残っていた参加者約120名より70件の有効回答を得た。調査は、Googleドキュメント上に質問項目を作成しておき、口頭による会場での数回のアナウンスとイントラネット内に設置したWebサーバ（以降、ローカルWeb）の双方で協力を呼びかけ、インターネット越しに答えてもらう方法で行った。回答は無記名である。図4に結果を示す。

利用用途については、会議情報や電子版講演論文を置いたローカルWebの利用が多い他、テキストチャットも回答者数70名のうち9割の人が利用していたことが分かる。7割以上の人が情報や文献検索も行っている。利用した機器について特徴的なことは、スマートフォンやタブレットも約半数の人が利用しているということである。これらの機器は基本的に無線LAN接続機能のみしか搭載されていないので、無線LAN接続に対するサービスの重要性は無視できないと言える。また、実験用機器の接続もあったことが分かる。学会に持ち込んだ機器数は一人あたり2～3台が多く、1台のみという人はこ

表3 NAPT テーブルの最大消費量

| 開催年 | 最大消費量 (5分間の平均) |
|-------|----------------|
| 2013年 | 8,920 |
| 2014年 | 11,586 |

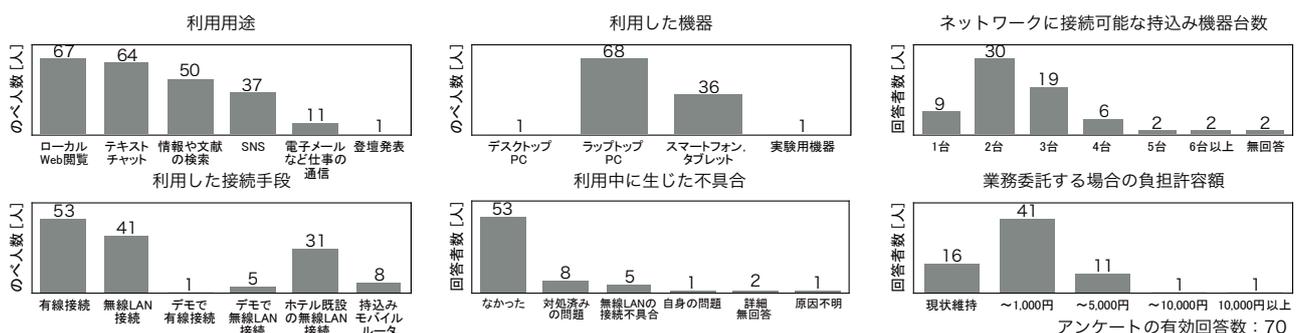


図4 WISS 2014の最終日に行ったネットワーク基盤に対する利用者のアンケート調査結果

こでは少数である。

利用した接続手段については、WISSでは、有線による接続が多く用いられていることが読み取れる。また、このときは会場のホテルが運用する無線LAN接続サービスも共存しており、こちらの利用者も一定数居たことが分かる。ホテル既設の無線LANと構築したネットワーク基盤は互いに独立なので、ローカルWebやテキストチャットなど、イントラネットには相互アクセスができない。不具合に関する自由記述の調査では、分析の結果、独立であることを忘れてアクセスできないことを不具合だと誤解してしまった利用者も居たことが分かった。このような誤った報告と4.5節で述べた対処済みの問題への再指摘、無線LANの不安定さや接続それ自体に関する不具合、参加者自身による問題を除けば、報告からは原因が特定できない1件に不具合の詳細内容が無回答の2件を併せた3件がWISS 2014での対処できなかった不具合であったことが分かった。

ネットワーク基盤を業務委託するとしたらいくらまで参加費の上昇を許容できるかについても調査した。その結果、約6割の人が1,000円までを許容範囲としていることが分かった。つまり、ここでは、1,000円/人がネットワーク基盤に対する価値基準であると言える。

図4には示していないが、最後に、次回以降のネットワーク基盤について自由記述にて意見を求めたところ、イントラネットのみでインターネット接続が無くても良いという意見が3件、インターネットからイントラネットへのアクセス手段を求める意見が1件寄せられた。その他、ネットワーク担当運営委員への労いの言葉が質問の主旨とは無関係に6件寄せられた。

5.3 議論

汎用PCによるソフトウェアルータの導入によって、イベント空間での一時的なネットワーク基盤の構築と運用の困難さがどれだけ改善されたかを定量的に評価することは難しい。しかし、定性的には、2.1節で述べた可搬性、拡張性、柔軟性のうち、拡張性と柔軟性について優れた結果を示したと言える。

統計情報より、少なくともソフトウェアルータは、ルータとしての負荷が開催期間を通して極めて低かったため、他のサービスを共存させるだけの十分な柔軟性が認められる。実際、Webプロキシサーバをルータ内で共存動作させており、これによって構成機器数を減らすことができている。今後、ローカルWebサーバなど他のサービスも必要に応じてルータ内に共存させ

ることも検討できる。そこまで実現したなら、ネットワーク基盤を1つのシステムとして見た場合の可搬性も十分に優れると言える。

また、拡張性については、本稿では4ポートのNICを3枚用いて合計13物理ポートのルータ（オンボードの1ポートを含む）として運用したが、将来の設計変更に対応するためにNIC増設によりポート数をさらに増やすことも可能である。環境変化への対応の1つとして、無線LAN接続サービスの重要性から、多くの異なる無線チャンネル運用の必要性に迫られることも考えられる。このとき、ソフトウェアルータ1台で多くの物理ポートを安価に収容できる。

6. おわりに

本稿では、2泊3日の合宿形式で開催されるIT系学術ワークショップの1つであるWISSを題材として、学会など時空間が限定されたイベント空間での一時的なネットワーク基盤の構築と運用について、方法論とノウハウ、そして失敗経験を述べた。そこでは、ソフトウェアルータを活用することで、可搬性、拡張性、柔軟性をバランス良く携えたネットワーク基盤が構築可能であることを、直近2年間の運用結果と統計情報により示した。さらに利用者へのアンケート調査から、現時点での利用動向を示すと共に、これらを分析した結果、連続する3日間において不具合も極めて軽微に抑えられていたことを示した。これにより、本稿が、イベント空間で同様のネットワーク基盤を実現しようとする人たちへの今後の一助になり得ると考える。

謝辞 WISS 2013および2014のネットワーク基盤構築を手伝ってくれた岩手県立大学の澤田直哉氏（現在、NTTコミュニケーションズ）、内田泰広氏（現在、IIJ）、杉山暢彦氏（現在、セプテーニ・オリジナル）に謝意を表します。

参考文献

- 1) 武田英明, 松尾 豊, 濱崎雅弘, 沼 晃介, 中村嘉志, 西村拓一: イベント空間におけるコミュニケーション支援, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.3, pp.206-212 (2006).
- 2) 中島秀之: 論文誌等の完全オンライン化の意義, 情報処理学会誌, Vol.48, No.12, pp.1315-1316 (2007).
- 3) 情報処理学会プレスリリース: 学術コンテンツを広く世に届けるため, 情報処理学会とニコニコが提携, http://www.ipsj.or.jp/release/niconico_partnering.html (2015) (2016年4月26日現在).
- 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) 中山貴夫：拡張性を考慮した WiMAX ルータによるイベントネットワーク構築, 情報処理学会研究報告 (IOT-24), No.31 (2014).
- 6) 田島弘隆, 熊谷 晁, 他：CONBU の無線 LAN 構築術カンファレンスネットワークの作り方, Software Design 2015 年 3 月号, 技術評論社, pp.18-53 (2015).
- 7) Srisuresh, P. and Holdrege, M.: RFC 2663: IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations (1999).
- 8) 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, WISS 2005 論文集, pp.117-120 (2005).
- 9) 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), pp.49-54 (2013).
- 10) 綾塚祐二, 河口信夫：参加者が作る会議支援システム～WISS Challenge～, コンピュータソフトウェア, Vol.23, No.4, pp.76-81 (2006).

中村 嘉志 (正会員) nmura@kokushikan.ac.jp

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, 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, IEEE 各会員.

瀬川 典久 (正会員) sega@acm.org

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, ヒューマンインタフェース学会, ACM 各会員.

丸山 一貴 (正会員) kazutaka.maruyama@meisei-u.ac.jp

1975 年生. 1999 年東京大学工学部機械情報工学科卒業, 2001 年同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了, 2004 年同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の研究, 大学における ICT サービスの設計と運用に従事. 日本ソフトウェア科学会, ACM, IEEE 各会員.

投稿受付：2015 年 7 月 15 日

採録決定：2016 年 4 月 26 日

編集担当：定兼邦彦 (東京大学)