

OSSを活用したキャンパスネットワークの構成管理システム

北口 善明^{1,a)} 金 勇¹ 友石 正彦¹

概要: ネットワーク運用では、多種多様なネットワーク機器を併用し、利用者へのサービス提供を行う必要があり、大規模な環境となると統合管理の仕組みが重要となる。本稿では、2021年度より段階的に運用を開始した東京工業大学キャンパスネットワーク (Titanet4: Tokyo Institute of Technology Academic NETwork phase 4) の設計と構築について紹介する。特に、継続的な運用を想定して、オープンソースソフトウェア (OSS) を活用して実装した構成管理システムと新たに導入したクラウド型無線 LAN 統合管理システムについて詳述し、現状の課題と今後の展望を紹介する。

キーワード: 構成管理ツール, キャンパスネットワーク, Titanet4, OSS

Configuration Management System for Campus Network using OSS

Abstract: In network operation, a variety of network devices must be used together to provide services to users, and an integrated management system is important in a large-scale environment. This paper describes the design and construction of the Tokyo Institute of Technology campus network (Titanet4: Tokyo Institute of Technology Academic NETwork phase 4), which began phased operation in FY2021. In particular, we describe in detail the configuration management system implemented using open source software (OSS) for continuous operation, and introduce current issues and future prospects.

Keywords: Configuration management tools, Campus network, Titanet4, and OSS

1. はじめに

キャンパスネットワークにおけるネットワーク運用では、多種多様なネットワーク機器を併用し、利用者へのサービス提供を柔軟に行う必要がある。大規模なネットワーク環境となると、統合管理を行うシステムが重要となるが、単一ベンダで構成されていないネットワーク環境においては専用オーケストレータの導入は難しい。また、マルチベンダに対応したシステムを構築すると、独自開発では価格的に導入が難しい場合がある。

本稿では、2021年度より段階的なネットワーク運用を開始した東京工業大学の新しいキャンパスネットワーク (Titanet4) の導入事例を紹介する。特に、継続的な運用を想定して導入した、クラウド型無線 LAN 統合管理システムと OSS を活用して構築した構成管理システムについて詳述し、現状の課題と今後の展望についてまとめる。

なお、東京工業大学は、3つのキャンパス (大岡山, すすかけ台, 田町) で構成され、学生数が約 10,500 人, 教職員数が約 1,700 人規模の理工系総合大学である。ネットワークシステムの比較検討に際して参照されたい。

2. Titanet4

本章では、東京工業大学の新しいキャンパスネットワーク: Titanet4 の設計と構築についてまとめ、その特徴を最後に記す。

2.1 更新の背景

2010年頃から稼働を開始した東京工業大学キャンパスネットワークシステム (Tokyo Institute of Technology Academic NETwork phase 3: Titanet3) [1] とキャンパス無線ネットワーク (Titanet Wireless 2: TW2) は、本学における研究活動を支える基盤として運用され、研究活動に関わる多種多様な情報を迅速かつ安定して享受するために必要不可欠な存在となっていた。さらには研究面のみならず、

¹ 東京工業大学 学術国際情報センター
Tokyo Institute of Technology

^{a)} kitaguchi@gsic.titech.ac.jp

教育活動および大学運営面でも欠かすことができないものとなり、全構成員に対して安定的にサービスを提供し続けることが求められていた。

しかし、Titanet3 および TW2 は、安定性に加え、各時代に応じた新たな要求に応えるべく機能を追加しながらシステムの拡充を図ってきたが、2018 年度時点において、多様化する本学の研究教育活動を支援するための機能を十分に有していない状況となっていた。具体的には、耐用年数が 6 年と言われているネットワーク機器の老朽化に伴うハードウェア障害の高頻度化や、増加する通信トラフィックや利用媒体への提供リソース不足、多様化が進むサイバーセキュリティ対策への追従が困難、加えて、無線ネットワークシステムの多くは Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n) までのサポートでギガビット通信に対応していない点などである。

2.2 設計概念

このような背景を受け、次世代の本学にとって有益なキャンパスネットワークサービスを提供することを目指し、既存の Titanet3/TW2 を置き換える新しいキャンパスネットワーク“Titanet4”を設計・構築した。Titanet4 (Tokyo Institute of Technology Academic NETWORK phase 4) では、今後の本学における創造的な研究教育活動をこれまで以上に促進することを目標とし、先進性・信頼性・生産性の三点を重視した設計とした。

先進性に関しては、これまで以上にネットワーク利用が増加することによって様々な機器がキャンパスネットワークに参加することを鑑み、無線ネットワークのギガビット対応 (Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) への対応) と基幹ネットワークの広帯域化、および、全学的な IPv6 利用が可能となる環境を実現する。加えて、本学が世界に誇るスーパーコンピュータ TSUBAME と学内外の計算機環境を高速な回線で接続することも重要であることから、対外および学内双方に対して 100Gbps による広帯域接続が可能な環境を構築する。

信頼性に関しては、Titanet3 にて構築した冗長構成を継承しつつ、複数キャンパスを活用したより冗長度の高いネットワークへと進化させる。具体的には、各キャンパスそれぞれへの対外接続回線を増強し、キャンパス間接続の冗長構成も維持する構成とする。対外接続機器は、機器構成および機器自体の冗長性を保ち、単点障害ではネットワークが停止しない強靱なキャンパスネットワークを構成する。

生産性に関しては、その低下を招くセキュリティインシデントの発生を抑制することが重要となる。そのため、多様化するサイバー攻撃に対処するための柔軟なセキュリティゲートウェイの運用や、キャンパスネットワーク内に接続される膨大な端末の管理、オーケストレーション等によるネットワーク運用管理コストの低減に伴った障害およ

びセキュリティインシデント発生時の対応工数削減が必要となる。

2.3 構築と運用体制

東京工業大学では、学内の各建物に設置する建物スイッチにおいてキャンパスネットワークを幹線ネットワークと支線ネットワークに分けて運用管理業務を遂行している。前者を学術国際情報センター内に配置された、教員と技術職員から構成される NOC (Network Operation Center) が、後者を建物スイッチに接続する部局等にてそれぞれ担当している。

幹線ネットワークに導入するネットワーク機器はリースではなく基本的に購入する方針としており、設計・構築・運用・管理をすべて NOC にて遂行している。購入して自前での運用管理を行うことで、一般的なリース期間よりも長く使い続けることを可能とし、結果として運用コストを低減することができているが、初期導入コストが大きくなってしまふ点が課題となっている。そのため、今回の Titanet4 導入に際しては、幹線ネットワーク部分を対外接続部分、基幹ネットワーク部分、無線ネットワーク部分に分け、三段階での調達・更新という手順を踏んでいる。

- 対外接続部分 (Titanet4-border)
2018 年度末調達 2019 年度納品
- 基幹ネットワーク部分 (Titanet4-core)
2019 年度末調達 2020 年度納品
- 無線ネットワーク部分 (Titanet4-wireless)
2020 年度末調達 2021 年度納品

対外接続部分の機器が納品され、基幹ネットワーク部分の導入を開始する段階となったタイミングにおいて、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行という不測の事態が発生し、機器導入作業が 2021 年度にずれ込むこととなった。加えて、オンライン講義にむけた無線 LAN 環境の改善が求められ、2022 年度の整備を想定していた無線ネットワーク部分の更新を前倒しする必要性が出てきた。そのため、2021 年度には基幹ネットワークと無線ネットワークを同時更新することとなり、現行ネットワークシステムへの設定追加も併用しつつ、新システムの導入を進めた。結果的に、COVID-19 の影響で発生した大規模な半導体不足に起因するネットワーク機器の製造遅延を回避することにつながり、旧ネットワークシステムの大規模障害が発生する前に、ネットワーク機器の更新を完遂できたことは不幸中の幸いであったといえる。

今回の更新で導入したネットワーク機器を表 1 に示す。入札の結果、多くのネットワーク機器は Juniper Networks 社製品が導入されることとなったが、対外接続分配スイッチとして Arista Networks 社製品が、静音対応建物スイッチと無線 LAN システムに Cisco Systems 社製品がそれぞれ配備されることとなった。先に述べたように、ネット

表 1 Titanet4 で導入したネットワーク機器
Table 1 Network equipment installed on Titanet4.

| 役割 | 製品名 |
|--------------|---|
| 対外接続分配スイッチ | Arista 7280SR2 |
| 対外接続ルータ | Juniper MX10003 |
| WDM 装置 | ADVA FSP 3000R7 |
| 基幹スイッチ | Juniper EX9214 (大岡山) Juniper EX9208 (すずかけ台) |
| 建物スイッチ | Juniper EX4300-48MP, Juniper EX4300-32F, Cisco C1000-24P-4X-L |
| セキュリティ機器 | FortiGate 2000E, Juniper SRX4600, Check Point MHS-6203-PLUS |
| 無線 LAN システム | Cisco Meraki MR44 |
| 無線用 PoE スイッチ | Cisco Meraki MS355-24X2 |

ワーク機器は買い取りのうえ、できるだけ長い期間利用する運用方針としているため、すべてのネットワーク機器を同一ベンダで構成することは困難であり、マルチベンダを基本としたネットワーク運用が必要となっている。

2.4 ネットワークシステムの特徴

今回導入した Titanet4 の構成を図 1 に示し、その特徴を具体的に以下にまとめる。

これまで、大岡山キャンパスからのみ実施していた対外接続を変更し、すずかけ台キャンパスからも 100G 回線の SINET 接続可能な構成としている。現時点では、対外接続ルータおよびセキュリティ機器群が大岡山キャンパスに集約されていることもあり、本格的な対外接続の冗長化までには至っていないが、今後の機能拡張にて対応する予定である。

基幹ネットワークにおいては、Titanet3 の設計を引き継ぎ、基幹スイッチと建物スイッチによる 2 階層のネットワーク構成を取っている [1]。大岡山キャンパスとすずかけ台キャンパスにそれぞれ 2 台の基幹スイッチを配置し、キャンパス間 WDM を介して 40G 回線を 2 回線ずつ、合計 160Gbps での Multi-Chassis Link Aggregation (MC-LAG) を構成し、基幹スイッチ間を接続している。また、建物スイッチはキャンパス内の 2 台の基幹スイッチと 40G 回線でそれぞれ接続し、こちらも MC-LAG による冗長構成とし、各建物までそれぞれ 80Gbps での接続としている。MC-LAG 導入以前は、ループを避けるため回線の一部を遮断する機能を利用していたが、MC-LAG の導入により回線帯域を有効利用できることになった。

無線ネットワークでは、これまで利用していたトンネルモードによる無線 LAN コントローラモデルをやめ、クラウド型のコントローラ [2] を採用した。これは、Wi-Fi 6 を導入することでトンネル集約がボトルネックとなることを避けることと、今後のアクセスポイント増設に向けたス

ケーラビリティ確保の観点からの選択である。今回導入した無線 LAN システムでは、アクセスポイントおよび PoE スイッチの統合管理をクラウドコンソールにて実現できしており、機器のシリアル番号登録とクラウドコンソールに到達可能な IP 設定を DHCP にて提供するだけで運用投入可能となっている。したがって、無線 LAN 機器群を学外サービスに接続させる必要があるため、無線 LAN 機器の管理用ネットワークは、基幹ネットワークのスイッチ群とはポリシーの異なるネットワークとし、キャンパスのエリア毎にセグメンテーションした設計としている。

本学で提供している無線 LAN サービスは大きくキャンパス無線 LAN サービスと eduroam サービスに分けられる。両方共に上記のクラウド型無線 LAN 統合管理システム上で構築しており、主な違いは認証方式である。キャンパス無線 LAN サービスでは Web 認証方式を使うのに対し、eduroam では 802.1X 認証方式を使う。Web 認証方式の実現に関して、クラウド上に認証サーバを構築する方法とローカルに認証サーバを置く方法があるが、本学では構築ツールなどが利用可能なクラウド上での認証サーバを利用し、RADIUS 認証サーバは既存と同じくローカルサーバを利用する構成になっている。一方、802.1X 認証に関しては各アクセスポイントから直接本校のローカルに構築した eduroam RADIUS 認証プロキシから eduroam JP を経由し、対応組織の IdP にて認証を行う構成になっている。これにより、本校のキャンパス無線 LAN サービスによる認証方式は、クラウドコントローラを経由する Web 認証とアクセスポイントのみ経由する 802.1X 認証をクラウド型無線 LAN 統合管理システムにより実現している。更に、クラウドコンソールでは、要求仕様即して接続端末の状況を一覧で視認することができており、迅速な障害対応等が行える環境となった。

3. 構成管理システム

今回導入した Titanet4 の構築に際し、Titanet3 における設定情報の移行作業が必要であった。Titanet3 では、ネットワークの資源管理を Wiki ページにて管理し、設定作業はネットワーク機器における CLI 操作に最適化した運用としていたが、10 年以上の運用業務においていくつかの問題が発生していた。Wiki ページにて集約していた構成情報に関しては、廃止申請時にネットワーク機器の設定から削除したものが更新されずに残っていたり、最新の状態で追従できていない情報の欠落が生じていた。

そのため、ネットワーク設定の移行に際しては、ネットワーク機器上の設定を最新情報として扱う必要があったが、こちらにおいても不要となったコメント文が多く散見され、そのまま全て移行するには問題があると考えられた。また、CLI 操作を基本とした運用体制では、定常業務においても相当なスキルを運用スタッフに課すこととなる

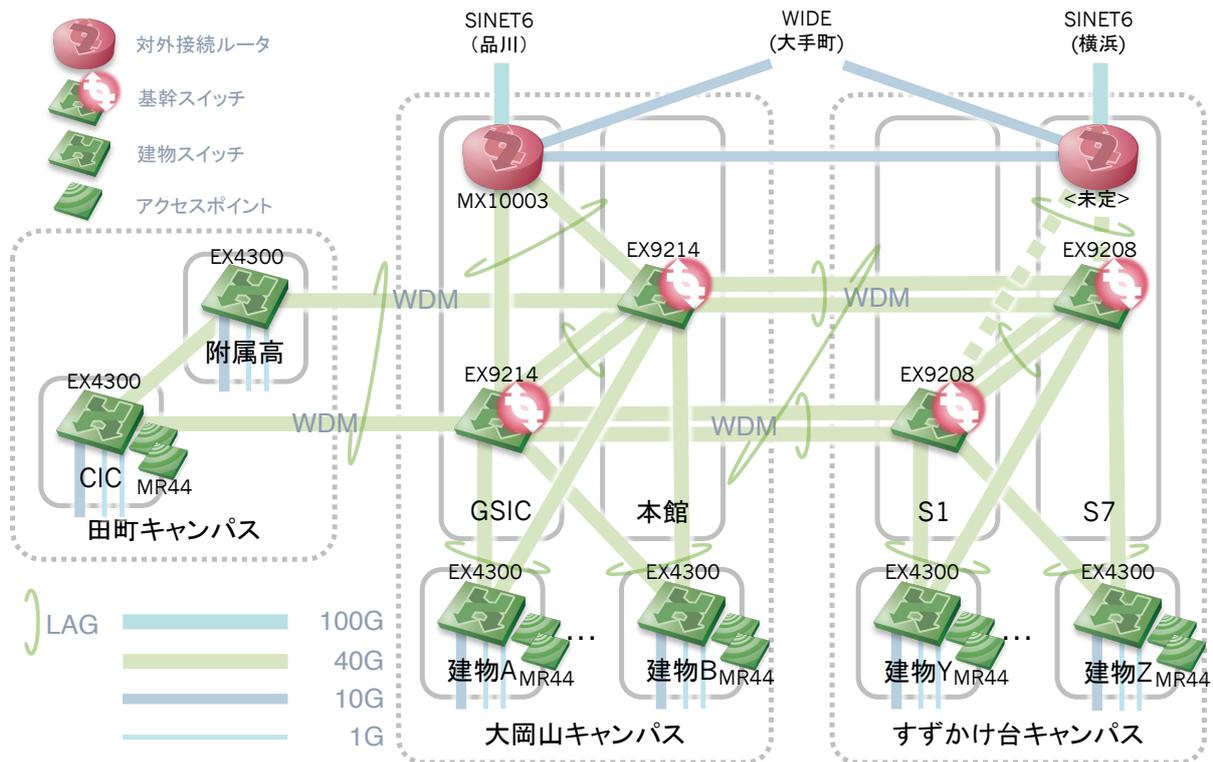


図 1 Titanet4 のネットワーク構成
Fig. 1 Network configuration of Titanet4.

ため、運用コストが高くなるといった問題があった。そこで、Titanet4におけるネットワーク運用では CLI 操作を基本とせず、構成管理システムを導入することによる運用コスト削減を目指すこととした。

3.1 Netbox によるネットワーク構成管理

本節では、Titanet3 から Titanet4 へのネットワーク設定移行手法について述べる。

先に述べた通り、Titanet3 におけるネットワーク設定は非構造的な Wiki ページデータや各エッジスイッチの設定を参照する必要があるため、一元管理する仕組みを用意する必要があった。そこで、Titanet4 における運用業務も想定し、活発に OSS で開発が行われている Netbox[3] をネットワーク構成情報のデータベースとして活用することし、構成管理ツールと連携したネットワーク機器設定を可能とするシステムを準備することとした。

Netbox は、ネットワーク管理を支援し、運用の自動化を促進するために設計された IRM (Infrastructure Resource Modeling) アプリケーションであり、IPAM (IP Address Management) 機能と DCIM (Data Center Infrastructure Management) 機能を有している、ネットワークシステム管理において非常に強力なツールである。GUI 操作により事務職員による運用担当も可能で視認性が高く、REST API が提供されているためシステム化も容易である。

ネットワーク設定の移行に際して、まず始めに、Titanet3

における以下のネットワーク情報を Netbox に登録した。

(1) Wiki ページで管理していた VLAN と IP プレフィックス情報

(2) Excel で管理していた建物スイッチの機器情報

(3) ネットワーク機器におけるスイッチポート設定情報

(1) と (2) に関しては、扱いやすいように Google Spreadsheet に変換する作業を事前に実施して入力情報とした。(3) に関しては、ネットワーク機器設定をパースして各ポートの設定情報を収集する必要がある。そこで、ネットワーク機器設定の構文解析ツールである Batfish[4] を用い、複数のベンダ (Juniper, Cisco, Alaxala など) にて構成されていたスイッチポート情報を統一フォーマットで記述する前処理を実施した。なお、Batfish では、JUNOS で扱う interface-range を解釈できない点があり、この部分は独自に Batdish のパッチを作成して対処している。これらの情報を REST API を利用して Netbox に登録し、Titanet4 に設定するネットワーク構成情報とした。

Netbox に対して必要なネットワーク設定を登録できたことで、構成管理ツールを用いたネットワーク機器設定が可能となる。今回、Titanet4 のネットワーク機器設定の構成管理ツールとして Ansible[5] を用いた。Ansible は、RedHat 社が開発する OSS、構成管理ツールで、マルチベンダに対応しつつ、操作対象にエージェントを導入することなく利用できるという特徴を有している。処理内容を YAML 形式で記述する Playbook で用意し、その内容を繰

表 2 Netbox に導入した nbck で用いる処置タグと動作概要
 Table 2 Definition of tags in Netbox used by nbck.

| タグ名 | 対象 | 動作概要 |
|--------------|--------------------|--|
| MCLAG Master | 基幹スイッチ IF | 同じ IF 名の MCLAG Slave タグが付与された IF の設定をこの IF の設定で上書きする |
| MCLAG Slave | 基幹スイッチ IF | 同じ IF 名の MCLAG Master タグが付与された IF の設定に強制同期させる |
| Downlink | 基幹スイッチ IF | Downlink タグが設定された IF の Description に建物スイッチ名称があった場合に、当該建物スイッチで利用しているすべての VLAN を tagged で上書き設定する |
| VLAN-O | VLAN | エリア判定が大岡山の建物スイッチにおいて Wi-Fi タグ IF に追加される VLAN として判定 |
| VLAN-S | VLAN | エリア判定がすずかけ台の建物スイッチにおいて Wi-Fi タグ IF に追加される VLAN として判定 |
| Wi-Fi | VLAN, 建物スイッチ IF | Wi-Fi タグが設定された VLAN をエリア毎 (VLAN-O, VLAN-S で判定) に判定し、Wi-Fi タグが設定された IF に当該エリアにおけるすべての VLAN を tagged で設定する |

り返し実施しても同じ結果となる冪等性を補償している。

先に構築した Netbox における構成情報を、Ansible に追加された NetBox Inventory Plugin を利用してインベントリとして扱い、設定機器の種別 (Juniper と Cisco) 毎にテンプレートを準備して、以下の機能を実装した。

- migrate: Netbox にて設定したスイッチポートの VLAN 設定を反映する機能
- dryrun: Netbox の設定と実機設定の差分を確認する機能
- overwrite: 特定の CLI コマンドを実行する機能

実装した migrate 機能を利用し、Netbox に集約したネットワーク構成情報を Titanet4 のネットワーク機器群 (基幹スイッチ 4 台、建物スイッチ 86 台) に投入することができ、結果として大幅な移行コスト削減につながった。本機能は今後の定常業務で利用することも想定しており、次節にて改良方針をまとめる。

3.2 定常業務への利用に向けた改良と方針

NOC にて実施している定常業務において、ネットワークの設定変更が伴うものの一つとして“支線ネットワークの接続申請”がある。Titanet4 では、この作業を今回構築した構成管理システムにて遂行することを想定し、機能追加を進めている。“支線ネットワークの接続申請”では、次に挙げる操作が必要となる。

- VLAN 番号の採番・割り当て
- IP アドレスの採番・割り当て
- 建物スイッチのポートに対する VLAN 設定
- 基幹スイッチにおける VLAN 設定
- 基幹スイッチにおけるゲートウェイ設定

現時点での運用では、申請書の情報を元に、GUI による Netbox への設定投入を経て、Ansible での設定投入という流れを取っている。そのため、ネットワーク設定として整合性の取れない設定が Netbox に投入されることで、意図しない動作につながる可能性が存在していた。また、MC-LAG ポートや無線ネットワークポートの設定変更では、同じ処理を複数のポートに実施することとなるため、

GUI では非効率であった。

そこで、Netbox の REST API を活用し、以下に挙げる設定の整合性を取る外部スクリプト“nbck”を準備した。

- MC-LAG のメンバポートに Master/Slave を定義し、Master 設定で Slave ポートの設定を同期する機能
- 建物スイッチで利用している VLAN の一覧と、基幹スイッチにおける接続ポートのタグ VLAN 設定を同期する機能
- 無線 LAN で利用する VLAN 定義と、無線ネットワークポートのタグ VLAN 設定を同期する機能

Netbox 上でのネットワーク機器設定の整合性を確認する箇所を識別するために、Netbox におけるタグ機能を利用した。表 2 に導入した処理タグと設定対象および動作概要をまとめる。MC-LAG における Master と Slave での設定差異をなくすためには、MCLAG-Master タグを設定した IF 設定で上書きする処理を実施し、入力ミスによる差異発生を抑制している。建物スイッチ接続ポートへのタグ VLAN 設定漏れに関しても、接続する建物スイッチにおける VLAN 一覧を元に、過不足なく基幹スイッチのダウンリンクに設定できる処理を実装している。また、無線 LAN 環境の拡充によるダイナミック VLAN への対応を見据え、VLAN の追加だけでアクセスポイント接続 IF への VLAN 追加を容易に実施できる仕組みを、Wi-Fi タグにて制御できるようにした。

Netbox において GUI による設定変更を実施した際には、必ず nbck を実行して人為的な不整合が発生していないことを確認し、その後、Ansible による設定投入を実施する運用としている。なお、本稿執筆時点では、先に挙げた定常業務のうち、支線ネットワークのゲートウェイを基幹スイッチで設定する部分の実装は完了しておらず、Titanet4 への完全移行となる今夏に向けて対応を進めている。

3.3 現在の課題

今回紹介した部分は、最終的な運用システムにおける導入部分でしかなく、追加実装が必要な点が多く残っている。

3.3.1 commit コマンドのないネットワーク機器対応

現在の実装では、冪等性を担保しつつ Ansible 処理を一度のやり取りで完遂することを目指し、現状の設定との差分を比較して設定処理を決定する手法とせず、機器に設定されている情報を先に削除したうえで必要な設定を追加する処理としている。具体的には、前処理として VLAN および IF の設定をすべて削除してから、Netbox 上の構成情報を入力する流れを、Playbook として作成している。ただし、本手法が機能する環境は、複数の設定変更を記述後にまとめて投入できる commit コマンドを有するネットワーク機器で構成されるネットワークであり、ネットワーク機器への処理投入が即時に反映されるシステムでは問題となる。今回導入したネットワーク機器の多くが commit コマンドを有する Juniper 製品であったため、本手法にて処理時間短縮が可能となったが、静音対応建物スイッチとして導入した C1000-24P-4X-L では本手法を利用できず、現在の Cisco 用 Playbook では先に述べた前処理を実施できていないため、VLAN 削除に追従できないなどの課題が残っている。

3.3.2 構成管理データの鮮度維持

今回のネットワーク更新作業によって、構成管理データの棚卸しを進めることができているが、継続的な運用を想定したデータ更新ルールを策定しておく必要がある。Netbox の version 3.2 において、各構成管理データに対して連絡先（担当者）を設定する機能が追加されたことを受け、担当者情報の更新と割り当てもシステム上で完遂する方針とした。今後、定期的な情報確認処理をシステム化し、構成管理システム上のデータが常に現状を示すことができることを目指す。

3.3.3 申請処理の完全システム化

3.1 節で述べた“支線ネットワークの接続申請”処理は、後半の基幹スイッチにおけるゲートウェイ設定部分の自動化が実装できていない。支線ネットワークのゲートウェイ設定では、VRRP による冗長構成を提供しているが、VRRP における仮想 IP 設定を記述する部分の実装が Netbox になかったことで今回の実装では実現できていなかった。こちらの機能に関しても、Netbox の最新バージョンにおいて、FHRP (First Hop Redundancy Protocol) 機能への対応がなされたため、構成管理データに追記しつつ、Ansible による処理実装を行うことを検討している。最終的には、申請フォーム情報を元に設定投入可能な、申請フローも含めた整備を目指すものである。

3.3.4 OSS の更新への追従と貢献

先に述べた現在の課題に記載したように、今回利用した OSS である Netbox は非常に活発に開発が行われており、さまざまな運用者からの要望に応える対応が日々なされている。そのため、継続的な更新に追従していかないと、マイナーチェンジであってもデータベースの整合性が取れな

くなるといった問題も過去に発生していた。新しい機能が追加されることは歓迎したいが、安定的な運用を考えた上で対応することが重要であると考えており、必要に応じて OSS コミュニティへのフィードバックも実施することを想定している。また、今回開発したネットワーク機器への設定投入手法に関しては、OSS と同様に GitHub での公開を想定しており、同様のキャンパスネットワーク運用組織と連携しつつ、より有用なものとする取り組みも検討する必要がある。

4. おわりに

本稿では、東京工業大学で実施した、新キャンパスネットワーク：Titanet4 について紹介し、その特徴をまとめた。その中で、統合管理システムの重要性について述べ、クラウド型統合管理システムを導入できた無線 LAN システムとは異なり、無線 LAN 以外の基幹ネットワークにおける統合管理・自動化を目指した構成管理システムの構築について詳述した。OSS の Netbox, Ansible を活用し、旧ネットワークシステムからの移行コスト低減を実現し、今後のネットワーク運用管理業務効率化への応用例を示した。

今後は、構築した構成管理システムへの機能追加・改修を継続し、定常的なネットワーク業務をコード化することを実現し、ネットワーク運用の工数削減を目指す予定としている。加えて、OSS 活動への貢献および、作成アプリケーションの共有をはかり、同様の課題を持つ運用者との連携を経て、システムをブラッシュアップする予定である。

謝辞 本研究は、一部に科学研究費補助金 (20H04171) の助成を受けている。また、Titanet4 の設計・構築に際し、大学内外の多くの方々のお力添えを得た。大学外においては、各キャンパスネットワークにおけるネットワーク仕様や特徴の開示、ネットワーク機器の情報共有をいただいた情報系センター教職員の方々に、大学内では、ネットワーク機器の導入作業に従事いただいた情報基盤課および NOC スタッフの関係各位に対して、ここに感謝の意を示し深謝する。

参考文献

- [1] 友石 正彦, 益井 賢次, 飯田 勝吉: 仮想ネットワーク技術を用いたキャンパスネットワークの設計と構築, 信学技法, Vol. 109, No. 438, IA2009-112, 電子情報通信学会, pp. 207-212 (2010).
- [2] Cisco Meraki クラウド管理型ソリューション, https://www.cisco.com/c/m/ja_jp/meraki.html, (参照 2022-06-15).
- [3] NetBox Documentation, <https://docs.netbox.dev/>, (参照 2022-06-15).
- [4] Batfish - An open source network configuration analysis tool, <https://www.batfish.org/>, (参照 2022-06-15).
- [5] Ansible Documentation, <https://docs.ansible.com/>, (参照 2022-06-15).