

ネットワーク構成変更を追跡可能とする ネットワーク管理支援システム

須藤 侑一¹ 佐藤 聡² 櫻井 孝一¹ 新城 靖³

概要: ネットワークシステムが大規模かつ複雑化してきたため、利用者はネットワーク管理者に対してかなり頻繁に様々な要求を行う。ネットワーク管理者はこの要求にこたえるために、ネットワーク構成を迅速に変更している。そのため、ネットワーク管理者は、管理者間での共有情報を変更することなく、ネットワーク機器の設定のみ変更してしまう。そのため、ネットワークトラブルの対処が困難になる。本研究では、この問題解決のために、ネットワーク機器に設定された情報を定期的に収集し、それらの変更点を解析し、ネットワーク構成を表す情報を再構成する手法を提案する。

キーワード: LAN 運用管理技術, LAN スイッチ, 変更履歴, ネットワーク構成, 再構成

The network Administration Support System which can track changes to network settings

Abstract: Because network systems are becoming larger and more complex, users quite often make a variety of requests to network administrators. In order to respond to these requests, the network administrators have to quickly change a network configuration. Therefore, the network administrators would change only settings of network devices without changing share information among the network administrators. For this reason, it is difficult to deal with network problems. In order to solve this problem, we propose a system that collect settings of network devices regularly, analyze changes of these settings, and reconfigure network configuration.

Keywords: LAN operation and management technology, LAN switches, change history, network configuration, reconfigure

1. はじめに

近年、ネットワークシステムは社会全体に普及し、生活になくなくてはならないものとなり、利用法も日々変化している。組織等の大規模なネットワークシステムは、各部屋に設置されている情報コンセントまでを結ぶ LAN ケーブル、および建物間をつなぐ光ケーブルなどのケーブル類と、ス

イッチ、ルータ等のネットワーク機器から構成されている。このような大規模ネットワークの構築では、最初に設計が行われる。この設計とは、どの部屋同士を同一の LAN としたいか等の利用者の要望をまとめた論理設計と、それを満たすように構成要素となるケーブル類の配線・接続の設計とネットワーク機器の設定などの物理設計の二つからなる。本研究では、論理設計の成果物を論理構成情報と呼び、物理設計の成果物を物理構成情報と呼ぶ。具体的には、「部屋 A にある情報コンセントと部屋 B にある情報コンセントからなるネットワークがある」、といった情報のことを論理構成情報と呼び、「部屋 A にある情報コンセントはフロアスイッチ 1 のポート 5 に接続されている」といった LAN 配線経路及び LAN 接続情報や、「フロアスイッチ 1 のポート 5 は VLAN105 に所属している」といった機器の

¹ 筑波大学 システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Master's Program in Computer Science, Graduate School
of Systems and Information Engineering, University of
Tsukuba

² 筑波大学 学術情報メディアセンター
Academic Computing and Communications Center, Univer-
sity of Tsukuba

³ 筑波大学 システム情報系情報工学域
Division of Information Engineering, Faculty of Engineering,
Information and Systems, University of Tsukuba

設定情報のことを物理構成情報と呼ぶ。このようなネットワークシステムにおけるトラブルへの対応などの業務を行うには、ネットワーク構成を表す情報を管理者全員が効率的に共有することが大変重要な課題である。

一方、利用者の要求の変化に迅速に応じることも必要な業務である。利用者の要求の変化は論理構成情報の変化に対応するが、実際の作業では迅速な対応を求められるため、論理構成情報の変更を行わず、物理構成情報の変更作業が直接行われている。管理者にとって、トラブルが発生した際に原因究明を迅速に行うためには、最新の論理構成情報や、その変更履歴が大変重要になる。しかしながら、日常の業務において、利用者からの変更要求が頻繁に発生するために、物理構成情報の変更作業だけが行われ、論理構成情報の変更およびその履歴の記録作業は行われない。その結果、ネットワークの管理者が交代するとき、新任者がネットワーク機器の設定からネットワーク構成を一から把握し直す必要がある。これは大規模で複雑なネットワークではほぼ不可能である。また、管理者が同じだったとしても、運用を経るにつれて正確な論理構成情報を把握しきれなくなり、トラブル発生時の対処が難しくなる。本研究の目的は、物理構成情報変更時に論理構成情報が更新されず、変更履歴も記録されないという問題を解決することである。ネットワーク機器の設定情報である物理構成情報から論理構成情報を再構成し、かつ変更履歴を自動で記録することにより管理者の作業コストを軽減する。本研究の特徴は、物理構成情報から中間構成 DB を作成する点にある。この DB において変更点の履歴も記録する。中間構成 DB を作成することにより管理者の要求に応じた様々な形の論理構成情報が再構成可能となる。

2. 関連研究

吉澤らは仮想ネットワークにおけるネットワーク構成の文書の作成を支援する研究を行っている [8]。本研究では実際のネットワーク機器の構成を対象としている。

藤田らは、ネットワーク機器の Forwarding Database からネットワーク全体の接続構成を把握してネットワークトポロジを再構成する研究を行っている [3]。この研究の背景は、本研究と同じくネットワーク管理者が日常行っている物理構成の変更を支援するシステムととらえることができる。これらの研究成果は本研究におけるケーブル接続の変更を把握する部分として利用することができる。

飯島らは、ネットワーク設定をグラフィカルに行うための API に関する研究を行っている [5]。この研究は、ネットワーク管理者の作業負担を軽減するための論理設計から物理設計を行うツールとみなすことができる。また、宮本らは、大規模なネットワークにおいて VLAN を適切に管理する手法について研究を行っている [6]。この手法では、多数のスイッチの設定情報を一元的に収集設定し、スイッ

チ間の VLAN 設定の整合性を検証することを行っている。これは、ネットワーク管理者が不足する際には重要となる技術である。それに対し、本研究では、現在のネットワーク管理者が抱えている問題を解決することを目指している。

藤村らは、スイッチの VLAN 設定を Web インタフェースで行う研究を行っている [2]。この研究ではスイッチ単体を対象としている。本研究では複数のスイッチを対処に設定情報を閲覧できることを目的としている。

土本らは、ネットワークの構成情報を複数のネットワーク管理者で共有する方法に関して研究を行っている [7]。この研究は、ネットワーク構成情報の変更を記録している点では、本研究と似ている。しかしながら、コンフィグレーションファイルレベルでの変更点を記録しているだけであり、論理構成の変更を記録していない。

久長らは、ネットワークに接続される利用者端末の状況を把握するためのシステムについて研究を行っている [4]。このシステムは山口大学で運用されている。このシステムでも動的に変更されてる VLAN の情報を収集している。しかしこの研究では利用者端末の状況を把握することが目的であり、ネットワーク構成の再構成に適していない。

新らは、VLAN の設定の仕方の違いを吸収するために構成情報のモデルの研究を行っている [1]。この研究では、ネットワーク機器のベンダにより異なっている設定方法の違いを問題点としている。本研究では、同じベンダの設定の変更前後の差分をとり扱っている。

3. 提案手法

本研究では、物理構成情報から論理構成情報への再構成を支援することを提案する。これにより管理者が物理構成情報のみを更新してもそれに対応して論理構成情報が更新されるので、論理構成情報は最新のネットワーク構成を反映したものとなる。

ここで、ネットワーク設定変更作業はどのように行われるかについて考える。ケーブルとネットワーク機器からなるネットワークシステムにおいて、ネットワークの論理構成の変更要求に対応するためには、ネットワーク機器の設定変更のみが行われることが一般的である。それは、一旦敷設されたケーブルは長期間利用し続けられ、新しく配線をし直すことは頻繁には起こらないためである。ケーブルとネットワーク機器との接続関係についても、頻繁に変更されることはない。本研究では、このケーブルとネットワーク機器との接続変更の頻度は低いために、支援の対象としない。すなわち、本研究では、頻繁に変更される物理構成情報としては、ネットワーク機器の設定だけを対象とする。近年では、ネットワーク機器としては、Ethernet を取り扱うスイッチが主に使われるようになってきている。この Ethernet スイッチがもっている、一つのスイッチを仮想的に複数のスイッチに分割する Virtual Local

Area Network(VLAN) の技術を利用して、複数の分割されたネットワーク構成を実現している。したがって、本研究では、頻繁に変更される物理構成情報については、この VLAN に着目する。

本研究で提案する物理構成情報から論理構成情報への再構成を支援する方式について述べる。この方式の特徴は、1) 物理構成情報から論理構成情報へ再構成することを支援するために論理構成情報と物理構成情報の間に中間構成 DB を挟む「3層構造」を用いる点 2) 中間構成 DB に変更された日時を記録する点、の二つである。これらにより、構成変更に対応し、再構成可能にする。

この中間構成 DB は頻繁に変更される物理構成情報から得られる情報から作成する。それ以外の物理構成情報のうち、論理構成情報の再構成に必要な情報は構成関連 DB と呼ぶ DB に格納する。構成関連 DB に格納される情報は、ケーブルの配線情報、ケーブルとネットワーク機器の接続情報や、VLAN の実務担当者などの情報である。例えば、ケーブル配線に関する情報は、ケーブルの配線工事発注資料等から抽出可能であり、VLAN の実務担当者に関する情報は、人事データ等から抽出可能である。

一般に VLAN の設定方法はネットワーク機器のベンダによって異なっている。そのため、中間構成 DB では、ベンダ非依存になるようなモデルを用いた。中間構成 DB は、物理構成情報から「どのネットワーク機器のどのポートに、VLAN ID が割り当てられているか」を解析し、定義されたスキーマに従ってデータを格納する。

また、本研究では中間構成 DB から再構成する際の Web インターフェースを提案する。このインターフェースは管理者が容易に情報を検索するために用いる。また、構成関連 DB に関しては、部分的に実装されておりネットワーク機器名とその設置場所の対応情報が取得可能となっている。

3.1 システムの概要

本研究で提案するシステムの概要を図 1 に示す。

提案手法である物理構成情報から論理構成情報へ再構成するための 3 層構造を実現するためには大きく分けて 2 段階の処理がある。1 段階目の処理ではネットワーク機器に設定された物理構成情報を解析し、中間構成 DB にデータを格納する。これは、図 1 における、スイッチから中間構成データベースに向かう矢印群である。2 段階目の処理では中間構成 DB から管理者の要求に応じた論理構成情報を再構成し出力する。これは、図 1 におけるウェブインターフェースの部分に当たる。

1 段階目の、物理構成情報を解析し中間構成 DB にデータを格納する処理は、さらに 3 つの段階の処理から構成される。その 1 段階の処理では、管理対象となるネットワークスイッチに対して設定情報を収集する。これは、ネットワーク機器の機能を用いて遠隔から収集することが可能で

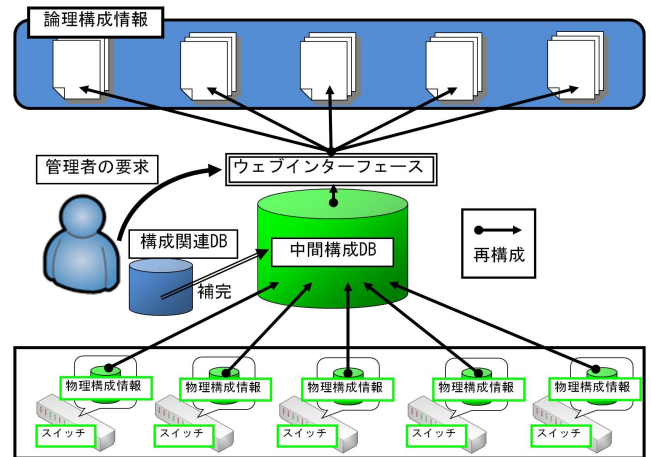


図 1 提案システムの概要

Fig. 1 Overview of our proposed system

ある。2 段階目の処理では、ベンダ依存である物理構成情報に対して字句解析・構文解析を行い VLAN の割り当て情報を抽出する。2 段階目の処理では、抽出された情報に基づいて中間構成 DB へデータを格納する。これらの処理により、中間構成 DB に格納される情報はベンダ非依存となり、ベンダの違いが隠ぺいすることを可能としている。なお、構成関連 DB はあらかじめ作成しており、その内容はめったに変化しないことから、本研究では、これらの更新については対象としない。

2 段階目の、中間構成 DB から論理構成情報へ再構成する処理では、管理者の要求に応じてさまざまな形式で出力する。本研究では、管理者の要求に応じて、自動生成された中間構成 DB に対する問い合わせの結果を表示するウェブインターフェースを作成した。このインターフェースでは、論理構成や物理構成、および履歴情報からの検索や表示を可能としている。以上より本提案手法は、管理者のコストを減らしつつ、管理者の要求に柔軟に対応した論理構成情報を提供する。

3.2 データスキーマ

中間構成 DB はネットワーク機器の VLAN に関する情報を格納する VLAN テーブル (表 1)、ネットワーク機器のポート (差し込み口) の情報を格納する PORT テーブル (表 2)、ポートに対する VLAN の割り当て情報を格納する RELATION テーブル (表 3)、更新履歴の情報を格納する HISTORY テーブル (表 4) の 4 つから構成される。表 1、表 2、表 3、表 4 において属性名が同じものは同一の意味をもつ。HISTORY テーブルの情報は過去の情報を蓄積するため、増加し続ける。

表 2 における stack とはスタック (複数のネットワーク機器を接続し、ひとつのネットワーク機器として扱うこと) されている場合、そのスタック中のどのネットワーク機器

表 1 VLAN テーブル
 Table 1 Table of VLAN

属性名	説明
vlan_id	vlan の ID を表す
fsw_name	ネットワーク機器識別名を表す
vlan_name	vlan の名前を表す

表 2 PORT テーブル
 Table 2 Table of PORT

属性名	説明
port	スイッチの各ポート番号を表す
stack	スイッチのスタック番号を表す
fsw_name	ネットワーク機器識別名を表す
tagging	パケットのタグ付けの有無を表す

表 3 RELATION テーブル
 Table 3 Table of RELATION

属性名	説明
vlan_id	vlan の ID を表す
port	スイッチの各ポート番号を表す
stack	スイッチのスタック番号を表す
fsw_name	ネットワーク機器識別名を表す

表 4 HISTORY テーブル
 Table 4 Table of HISTORY

属性名	説明
vlan_id	vlan の ID を表す
port	スイッチの各ポート番号を表す
stack	スイッチのスタック番号を表す
fsw_name	ネットワーク機器識別名を表す
assign	現在有効かどうかを表す
update_at	更新日時を表す

表 5 PLACE テーブル
 Table 5 Table of PLACE

属性名	説明
fsw_name	ネットワーク機器識別名を表す
place	ネットワーク機器設置場所を表す

であるかを表す。スタックされていない場合は 0 となる。
tagging はパケットのタグ付けの有無を表す。

構成関連 DB は、これらの 4 つのテーブルのいずれかの
 行に関連する情報、または、特定のカラムの属性値に関す
 る情報として定義する。例えば、ネットワークケーブルの
 配線情報は、配線工事の情報から作成し、PORT テーブル
 の各行に関する情報として定義することができる。また、
 VLAN の設置理由、管理組名や、実務担当者等の情報は、
 人事情報等のデータベースから作成し、VLAN テーブル
 の **vlan_id** カラムの属性値に関連する情報として定義す
 る。今回は、スイッチの設置場所に関する情報を、PORT
 テーブルの **fsw_name** カラムの属性値に関する情報として
 PLACE テーブルを定義した。その PLACE テーブルの構
 成を表 5 に示す。提案システムは、このように既存のデー
 タベースとうまく連携をとることにより様々なサービスを
 提供できる点に特徴がある。

3.3 ユーザインタフェース

管理者が行うネットワーク構成情報の検索方法として
 は、1) 特定のネットワーク機器（物理構成情報）を基に検
 索する場合、2) 特定の VLAN ID（論理構成情報）を基に
 検索をする場合の 2 種類が考えられる。

管理者が特定のネットワーク機器を基に検索する場合は、
 あるスイッチの特定のポートが所属している論理構成を検
 索したい場合や、特定のスイッチに設定されている論理構
 成を検索したい場合などがある。このようなときには、対
 象となるスイッチが特定できている。従って、管理者は、
 はじめにネットワーク機器を絞り込み、その後、そ
 の機器のポートの一覧を取得し、それぞれのポートに割有
 られている VLAN の情報を取得したり、そのポートに関
 する変更履歴を取得したりする。

管理者が特定の VLAN ID を基に検索する場合は、はじ
 めに VLAN ID を絞り込み、その後、その VLAN が
 割り当てられているポートの一覧を取得し、それらのポートが搭
 載されているネットワーク機器の情報を取得したり、その
 ポートに関する変更履歴を取得したりする。

本研究ではこれらを満たすインタフェースの設計を行っ
 た。この設計の目標は、再構成された論理構成情報と、現
 在の物理構成情報、および、変更履歴の閲覧が容易に行え
 ることとした。ここで、再構成された論理構成情報とは、
 同じ VLAN に所属しているポート情報の一覧情報とした。
 現在の物理構成情報としては、ポート情報と VLAN の組の
 一覧情報とした。変更履歴とは、ポート情報、変更日、ど
 のように変更したかの 3 つ組の一覧とした。なお、ポート
 情報とは、特定のポートを指定できるように必要となる、
 ネットワーク機器識別名、スタック番号、ポート番号の 3
 つ組である。これらの情報は、管理者が簡単でかつ直感的
 な操作を行うことにより閲覧できるようにするために、表示項

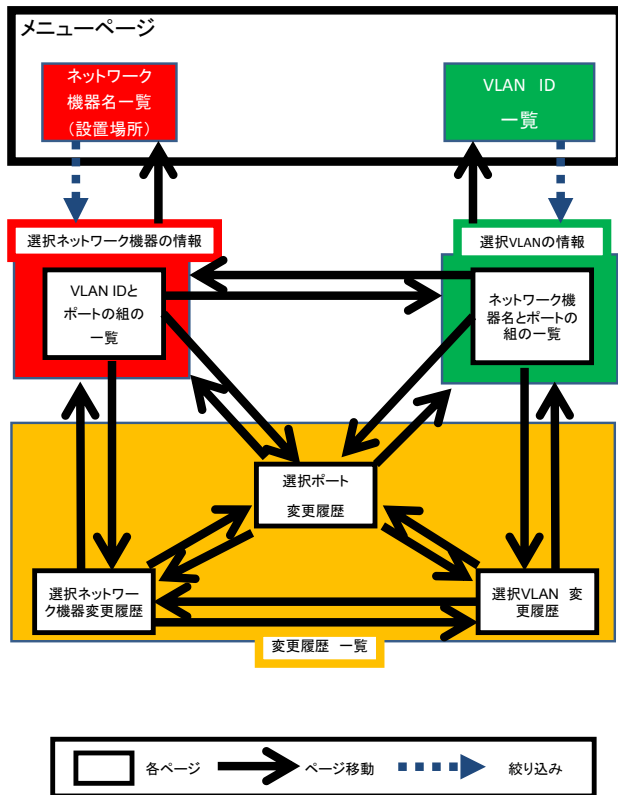


図 2 ページ遷移
Fig. 2

目に他の情報へのリンクを埋め込むこととした。これらの情報を表示するページの遷移を図 2 に示す。

メインページには、ネットワーク機器の一覧と、VLAN ID の一覧を表示する。ネットワーク機器の一覧において、各ネットワーク機器名の表示部分に、当該ネットワーク機器に関するポート情報と VLAN の組の一覧ページへのリンクが埋め込まれている。VLAN ID の一覧においては、各 VLAN ID の表示部分、当該 VLAN ID に所属するポート情報の一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

ネットワーク機器に所属するポート情報と VLAN の組の一覧ページにおいて、各組における VLAN ID の表示部分に、当該 VLAN ID に所属するポート情報の一覧ページへのリンク埋め込まれている。また、各組におけるポート情報のポート番号の表示部分に当該ポート情報に関連する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。また、このページには、メインページへのリンクと、このネットワーク機器に対する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

VLAN ID に所属するポート情報の一覧ページにおいて、ポート情報のネットワーク機器識別名の表示部分に当該ネットワーク機器に所属するポートと VLAN の組の一覧ページへのリンクが埋め込まれている。また、ポート情報

のポート番号の表示部分に、当該ポート情報に関連する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。また、このページには、メインページへのリンクと、この VLAN ID に関する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

変更履歴一覧ページには、1) ネットワーク機器に関する一覧、2) VLAN ID に関する一覧、3) ポート情報に関する一覧の 3 種類が存在する。

ネットワーク機器に関する変更履歴一覧ページでは、ネットワーク機器名の表示に部分に当該ネットワーク機器に所属するポート情報と VLAN の組の一覧ページへのリンクが埋め込まれている。VLAN ID の表示部分に当該 VLAN ID に関する変更履歴一覧ページのリンクが埋め込まれている。ポート情報の表示部分に当該ポート情報に関する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

VLAN ID に関する変更履歴一覧ページでは、VLAN ID の表示部分に当該 VLAN ID に所属するポート一覧ページのリンクが埋め込まれている。ネットワーク機器名の表示に部分に当該ネットワーク機器に関する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。ポート情報の表示部分に当該ポート情報に関する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

ポート情報に関する変更履歴一覧ページでは、VLAN ID の表示部分に当該 VLAN ID に関する変更履歴一覧ページのリンクが埋め込まれている。ネットワーク機器名の表示に部分に当該ネットワーク機器に関する変更履歴一覧ページへのリンクが埋め込まれている。また、これら以外に、当該ポートが現在所属しているネットワーク機器および VLAN ID の表示部分にそれぞれ当該ネットワーク機器に所属するポート情報と VLAN の組の一覧ページ、当該 VLAN ID に所属するポート情報の一覧ページへのリンクが埋め込まれている。

以上のように、各ページから相互にリンクを張ることにより、格納されている情報を多角的な視点にて容易に閲覧できる。とくに、変更履歴については、VLAN ID からの視点、ネットワーク機器からの視点、ポート情報からの視点と自由に変更しながら閲覧できるため、変更履歴の追跡が容易にできる。

4. 実装

以下に示す環境において実装を行った。

ソフトウェア	バージョン等
OS	Ubuntu12.04 kernel 3.2.0-24-generic
データベース	MySQL
Ruby	1.8.7
Rails	3.2.6

図 2 に示した 5 種類のページを表示するために、必要に応じて VLAN テーブル (表 1), PORT テーブル (表 2),

RELATION テーブル (表 3), HISTORY テーブル (表 4) の 4 つのデータベースから検索を行い, その結果を出力する。

構成関連 DB のテーブルとして本論文では, スイッチの設置場所 DB を実装した。本システムでは Ruby on Rails をフレームワークに用いたため, 連携する構成関連 DB が増えても, それぞれのページでの表示を変更するだけで対応可能となる。また表示ページに, 既存のネットワーク機器のトラフィック情報の管理システムへのリンクを追加する機能や, ネットワーク機器の内部情報 (フォワーディングデータベース等) を表示する機能等は, Rails のアドオンとして追加実装することにより, このインターフェース上に柔軟に追加することができる。

5. 評価

実装したシステムを用いて, 筑波大学の基幹ネットワークを構成するスイッチに対して本システムを適用し, ネットワーク構成情報を取得し, 変更履歴を記録した。その結果に対して, 適切な操作が行えるかについて評価を行った。

ネットワーク機器名がわかっている場合には, 管理者はトップページからネットワーク機器名を選択し, そのネットワーク機器に関するポート情報の一覧を得ることができる。そこでは, 機器名, スタック番号, ポート番号, 設定された VLAN ID の 4 つ組が表となって表示される。ポート番号の部分をクリックすることにより, そのポートに関する変更履歴が閲覧できる。また, VLAN ID の部分をクリックすることにより, その VLAN ID に所属するポート情報の一覧が閲覧できる。

VLAN ID がわかっている場合には, 管理者はトップページから VLAN ID をし, その VLAN ID に所属するポート情報の一覧を得ることができる。そこでは, ネットワーク機器名, スタック番号, ポート番号の 3 つ組が表となって表示される。ポート番号の部分をクリックすることにより, そのポートに関する変更履歴が閲覧できる。また, ネットワーク機器名をクリックすることによりその機器に関するポート情報の一覧が閲覧できる。

ポートに関する変更履歴のページでは, ポート情報, 変更日, どのように変更したかの 3 つ組の表が表示される。VLAN ID の部分をクリックすることにより, その VLAN ID に関連する変更履歴の一覧が表示される。また, ネットワーク機器名をクリックすることによりその機器に関連する変更履歴の一覧が表示された。これにより変更の履歴が追跡できた。

6. おわりに

本研究では, 日々の運用の中で論理構成情報の変更と履歴管理が行われな問題の解決法として, ネットワーク機器の設定情報である物理構成情報から論理構成情報を再構

成する方式を提案した。

本研究の特徴は, 物理構成情報を論理構成情報に再構成することである。論理構成情報を再構成するための 3 層構造について提案し, 中間構成 DB から論理構成情報を再構成することを示した。物理構成情報の段階ではベンダ依存であった情報を, 中間構成 DB ではベンダ非依存の情報として再構成する。また過去と現在の物理構成情報の差分ネットワークの更新履歴として保存することで変更を追跡できる。今後の課題は, 他の構成関連 DB を中間構成 DB と連携させ, より精度のよい論理構成情報を再構成することとウェブインターフェースを充実させることである。

謝辞 本研究の一部は, 筑波大学大学院博士前期課程コンピュータサイエンス専攻のソリューション型特別プロジェクトとして実施した。

参考文献

- [1] 新 麗, 二宮 恵, 加藤雅彦: ネットワークシステム管理のための構成情報データモデルの設計 (学生セッション), 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ, Vol. 108, No. 275, pp. 25-30 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007098727/>) (2008).
- [2] 藤村真希, 下川俊彦: L-001 AX-ON-API を用いた VLAN 運用管理を支援するシステムの開発 (L 分野: ネットワーク・セキュリティ, 一般論文), 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 9, No. 4, pp. 165-166 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008146085/>) (2010).
- [3] 藤田俊輔, 吉田和幸: Layer2 ネットワーク構成情報表示システムにおける構成推測条件の適用順序の影響について (シングルセッション, インターネットと情報倫理教育, 一般), 電子情報通信学会技術研究報告. SITE, 技術と社会・倫理, Vol. 108, No. 459, pp. 185-190 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007325377/>) (2009).
- [4] 久長 稔, 杉井 学, 為末隆弘, 金山知余, 小河原加久治: 山口大学におけるネットワーク運用支援システム, 学術情報処理研究, No. 15, pp. 31-39 (2011).
- [5] 飯島智之, 新 善文, 木村浩康, 木谷 誠: ON-API (Open Networking-Application Programming Interface) と ON-API を用いたネットワーク管理アプリケーションの開発 (Internet/LAN 運用管理技術, 特集: 新しいパラダイムの中での分散システム/インターネット運用・管理), 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 3, pp. 1052-1060 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110006644504/>) (2008).
- [6] 宮本貴朗, 田村武志, 鈴木亮司, 平岡大樹, 松尾英普, 泉 正夫, 福永邦雄: 大規模ネットワークにおける VLAN 管理システム (特集: インターネット応用システムの構築と運用管理), 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 12, pp. 3234-3244 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110002725650/>) (2000).
- [7] 土本康生, 渡辺秀文, 楠本博之, 村井 純: 構成情報の管理と共有によるネットワーク管理手法, 情報処理学会研究報告. DSM, [分散システム運用技術], Vol. 97, No. 111, pp. 1-6 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110002929061/>) (1997).
- [8] 吉澤政洋, 沖田英樹, 上原敬太郎, 垂井俊明: 仮想ネットワークに関する文書作成を支援するネットワーク管理システムの実装および評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, pp. 1334-1347 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008507968/>) (2011).