

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

吉澤 政洋^{†1} 沖田 英樹^{†1}
上原 敬太郎^{†1} 垂井 俊明^{†1}

データセンタでは、物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の管理手段が異なるため管理コストが増大している。特に大規模なデータセンタでは、サーバ仮想化の影響で運用管理に関する文書の作成が従来よりも難しくなり、その結果として管理コストが増大する。これらのコスト低減のため、本論文では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を提案する。本システムは、各装置の構成情報から仮想ネットワークの情報を生成し、この仮想ネットワークに対する管理者の操作から作業手順書とネットワーク図を生成する。本システムのプロトタイプによる実験の結果、VLAN 設定の作業手順書作成時間を最大で約 70 分から約 8 分に短縮できた。本システムは作業時間の短縮を通じたデータセンタの管理コスト低減に有効であることが明らかになった。

Implementation and Evaluation of Network Management System Supporting Documentation for Virtual Networks

MASAHIRO YOSHIZAWA,^{†1} HIDEKI OKITA,^{†1}
KEITARO UEHARA^{†1} and TOSHIKI TARUI^{†1}

In data centers, the cost of managing their network is increasing. Because data center operators have to use different Network Management Systems (NMSs) for existing network elements and virtual network elements created by server virtualization. Especially in large data centers, it becomes more difficult to create documents for data center operations and management and costs more than in the past. This paper presents a network management system supporting documentation for virtual networks. The system can create data of the virtual networks from configurations of network elements. When an operator changes the data of the virtual networks, the system can create operation manuals and network diagrams for the change. We developed a prototype sys-

tem and conducted experiments. The experiments showed that the prototype reduces the time required to create an operation manual to setup a VLAN from about seventy minutes to about eight minutes. The result implies that the system is effective to reduce the cost of managing data center networks.

1. はじめに

データセンタでは、サーバ統合にともなうサーバ仮想化^{1),2)}の事例が増加している。その中でもデータセンタ管理者の作業量(以下、管理コスト)の圧縮を目的としたサーバ統合事例が増加している^{3),4)}。

しかし、サーバ仮想化が普及することでデータセンタ内のサーバ、ネットワークおよびストレージの設定は従来よりも複雑になる。その結果、サーバ仮想化を導入するだけでは、システム的设计構築から運用管理全般に至るすべてのプロセスで、管理コストが逆に増加するという問題がある。したがって、サーバ仮想化環境におけるデータセンタの管理コスト低減が課題である。

従来よりも複雑になる設定の例としては、仮想サーバとその周辺のネットワーク装置にまたがる Virtual Local Area Network (VLAN) の設定がある。データセンタネットワークでは、複数のサーバからなるネットワークを、物理的な配線によらず柔軟に形成するために VLAN が用いられる。その際、ネットワーク管理者は顧客ごとに、その顧客が求める接続性や通信品質を満たすような VLAN を作成する。この VLAN 作成のための設定は、従来はネットワーク装置のみに対して行うものであった。しかし、サーバ仮想化環境では、サーバ装置上で動作する仮想スイッチに対しても VLAN の設定が必要になる。そのため、サーバ仮想化環境では VLAN 作成のたびにネットワーク管理者とサーバ管理者が連携する必要が生じ、管理コストが増加する。

機器ベンダは、サーバ仮想化に由来するこのような管理コストを低減させるために、仮想サーバとその仮想サーバ周辺の装置への I/O (以下、近傍 I/O) の連携制御⁵⁾⁻⁷⁾ や、I/O 仮想化^{8),9)} などの技術開発に取り組んでいる。仮想サーバと近傍 I/O の連携制御とは、仮想サーバの新規作成あるいは配置変更にともない、その仮想サーバの周辺のネットワーク装置やストレージ装置を自動あるいは半自動設定する技術である。その例としては、仮想

^{†1} 株式会社日立製作所中央研究所
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

サーバをある物理サーバから別の物理サーバに移動させるときに、VLAN 設定などのネットワーク設定を移動先の物理サーバとその周辺のスイッチに自動設定する技術がある。一方 I/O 仮想化とは、物理サーバからネットワークおよびストレージへの接続を外付けの I/O 仮想化装置に集約し、この I/O 仮想化装置の中で論理的な LAN や Storage Area Network (SAN) を形成する技術である。

本研究では、仮想サーバと近傍 I/O の連携制御の 1 つである、仮想サーバとその仮想サーバの周辺のネットワーク装置の連携制御を対象とする。また本研究では大規模なネットワーク管理の特徴である文書作成作業に着目し、大規模なサーバ仮想化環境における管理コストを低減させるためには、この文書作成作業の管理コスト低減が重要と考えた。

本論文では、大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワークの管理コスト低減を目的として、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を提案する。また、本システムを実現するために必要となる、物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置を一元的に表現可能な情報モデルを提案する。

以下、2 章では大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理の問題点と、解決すべき課題を述べる。3 章および 4 章では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を提案する。5 章で試作システムを用いた実験により本システムの有効性を明らかにする。6 章で関連研究を示し、最後に 7 章で全体をまとめる。

2. 大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理の問題点と課題

大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理には、サーバ仮想化環境に共通する問題点と、大規模なサーバ仮想化環境に固有の問題点がある。本章ではこれらの問題点とその背景、および解決すべき課題を述べる。

2.1 サーバ仮想化環境の特徴

VMware^{*1}や Virtage などのサーバ仮想化技術は、個々のサーバ装置の中に仮想的なネットワーク装置（仮想スイッチ、仮想ルータ、仮想 NAT など）を作る。これらの仮想的なネットワーク装置は、仮想サーバと物理的なネットワーク装置の間に立ち、通常ネットワーク装置と同様に動作する。たとえば、仮想スイッチはイーサネットフレームのスイッチング機能や、VLAN 機能を提供する。

図 1 は、日立サーバ仮想化機構 Virtage の仮想スイッチの例である。この例では、1 台の

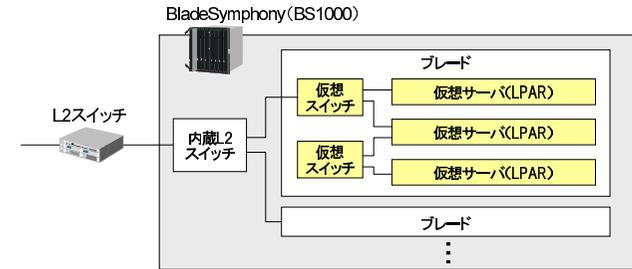


図 1 仮想スイッチの例

Fig. 1 Example of virtual switch.

ブレードサーバ上に、仮想サーバに相当する論理区画 (Logical PARTition, 以下 LPAR) と、LPAR と物理的なネットワーク装置 (内蔵レイヤ 2 スイッチ) を接続する仮想スイッチが存在している。

2.2 サーバ仮想化環境に共通するネットワーク管理の問題点

仮想的なネットワーク装置は、従来のサーバ管理者にとってもネットワーク管理者にとっても管理が難しいという問題がある。これは、仮想的なネットワーク装置の管理には、サーバとネットワーク双方の知識が必要となるためである。

まず、仮想的なネットワーク装置の管理には、VLAN などのネットワーク管理の知識が必要である。そのため、従来のサーバ管理者にとってその管理は難しい。

一方、仮想的なネットワーク装置の起動や停止、設定変更などを指示するためには、サーバ管理用のインターフェースを用いる必要がある。そのため、従来のネットワーク管理者にとってもその管理は難しい。

この問題を解決するため、機器ベンダは仮想サーバとその近傍 I/O の連携制御⁵⁾⁻⁷⁾ や、I/O 仮想化^{8),9)} などの技術開発に取り組んでいる。これらの技術の方向性は、サーバ管理者にとっての利便性を向上させる方向か、またはネットワーク管理者にとっての利便性を向上させる方向に大別できる。前者には、仮想ネットワークの設定を単純化し、その設定をグラフィカルインターフェースで容易に確認、変更できるようにする方法がある。一方、後者には、従来のネットワーク装置のコマンドラインインターフェース (以下、CLI) と類似した CLI を仮想スイッチに実装する方法がある。

2.3 大規模なネットワーク管理の特徴

執筆者らは、大規模なデータセンタのネットワーク管理に固有の問題を把握するため、複

*1 VMware は、米国およびその他の地域における VMware, Inc. の登録商標です。

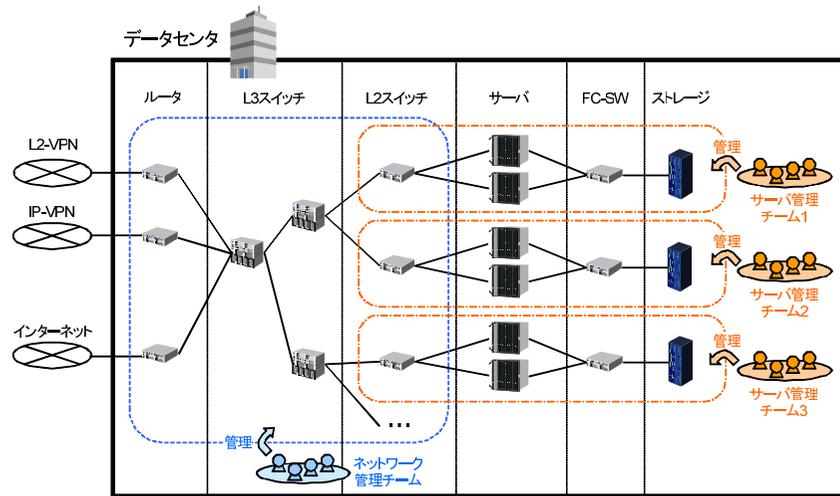


図 2 大規模なデータセンターネットワークとその管理体制

Fig. 2 Example of large data center network and its management system.

数の異なるデータセンターの管理者に対してインタビューを行った。その結果判明した、大規模なネットワーク管理の主な 2 つの特徴を以下に示す。

1 つの特徴は、大規模なデータセンターのネットワークは複数のチームによって管理されていることである。大規模なデータセンターのネットワークとその管理体制の一例を図 2 に示す。大規模なデータセンターではネットワーク管理とサーバ管理は別のチームによって行われており、チーム間で管理範囲が重複することもある。また、2 社以上のシステムインテグレータが業務システムを構築し、それぞれの業務システムごとに異なるサーバ管理チームが存在することも多い。

もう 1 つの特徴は、構成変更の際には十分な前準備とレビューを行うことである。構成変更の際には、その変更内容を示す作業手順書やネットワーク図などの文書を十分に用意したうえで、管理者間でのレビューを綿密に行う。また、変更内容は、そのデータセンターで稼働している業務の管理者（たとえば、銀行のデータセンターの場合は銀行の職員）からもレビューされる。

2.4 大規模なサーバ仮想化環境に固有のネットワーク管理の問題点

大規模なサーバ仮想化環境では、前節に示す特徴から、管理者間でやりとりする文書の作

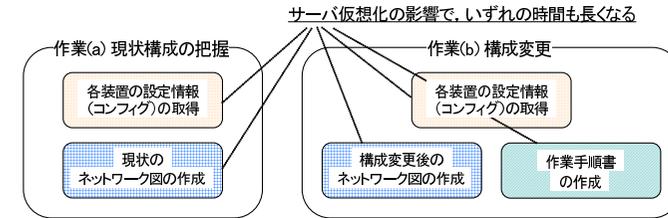


図 3 データセンターネットワーク管理での主な作業とその内訳

Fig. 3 Main operations in data center network management.

成作業が多く発生する。

図 3 に、データセンターで頻繁に行われる作業（現状構成の把握、構成変更）と、各作業に関する文書の作成作業の内訳を示す。管理者間でやりとりする文書の形式は現場ごとに異なるが、代表的な文書としてはネットワーク図や、構成変更の際の作業手順書がある。

現状構成の把握の際は、各装置の設定情報（コンフィグ）を取得し、その設定情報に基づいてネットワーク図を作成する。サーバ仮想化環境では、2.1 節で示した仮想的なネットワーク装置の影響で、各装置から取得する設定情報の数は従来よりも多くなり、取得にかかる時間も長くなる。また、ネットワーク図に載る要素の数も増えるため、ネットワーク図の作成にかかる時間も長くなる。

構成変更の際は、各装置の設定情報を取得し、その設定情報に基づいて構成変更のための作業手順書や、構成変更後のネットワーク図を作成する。サーバ仮想化環境では、2.1 節で示した仮想的なネットワーク装置の影響で、作業手順が複雑になる。その結果、作業手順書の作成にかかる時間も従来よりも長くなる。

加えて、2.2 節で示したように、仮想的なネットワーク装置の管理には、サーバとネットワーク双方の知識が必要となる。したがって、ネットワーク図および作業手順書を正確に作成する作業自体にも、サーバ管理チームとネットワーク管理チームの間での共同作業が繰り返し必要となる。ネットワーク管理システムによってこの作成時間を短縮できれば、ネットワーク管理チームだけでなく、サーバ管理チームの作業時間も大幅に短縮される可能性がある。

2.5 大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理の課題

以上の問題点をまとめると、大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理には以下の課題がある。

- (1) 物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の管理手段の統一
サーバ仮想化環境では、物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の管理手段が統一されていないことで、サーバ管理者およびネットワーク管理者の双方にとって管理が難しいという問題がある。そこで、両方の装置の管理手段を何らかの形で統一することが課題となる。
- (2) ネットワーク運用に関する文書の作成にかかる時間の短縮
大規模なサーバ仮想化環境では、仮想的なネットワーク装置の影響で、ネットワーク図や作業手順書の作成が難しくなり、結果としてこれらの文書の作成にかかる時間が長くなる。そこで、これらの文書の作成にかかる時間の短縮が課題となる。
- (3) 各装置の設定情報の取得にかかる時間の短縮
大規模なサーバ仮想化環境では、各装置から取得する設定情報の数が多くなり、その取得にかかる時間も長くなる。そこで、設定情報の取得にかかる時間の短縮が課題となる。

3. 仮想ネットワーク管理情報モデル

本研究では、サーバ仮想化環境において、ネットワーク運用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を提案する。以下では、このシステムを仮想ネットワーク管理システムと呼ぶ。

また本研究では、仮想ネットワーク管理システムが各装置から取得した構成情報を表現するための、汎用的な情報モデルを提案する。本章では、この情報モデル（以下、仮想ネットワーク管理情報モデル）について述べる^{10)–12)}。

3.1 仮想ネットワーク管理情報モデルの要件

仮想ネットワーク管理情報モデルは、以下の2つの要件を満たすことを目的とした情報モデルである。

1. 物理的なネットワーク装置の設定情報をもとに、物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の両方を含む論理的なネットワークの情報を生成できること。
2. 論理的なネットワークへの変更に基づいて、物理的なネットワーク装置の設定や、物理的なネットワーク装置への具体的な変更手順を生成できること。

要件1を満たせば、管理者は、本情報モデルを採用したシステムを通して、物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の関係を把握できるようになる。また要件2を満たせば、管理者は、本情報モデルを採用したシステムを通して、物理的なネットワーク装

置と仮想的なネットワーク装置の設定を横断的に変更できるようになる。

以下に、これらの要件を満たす情報モデルの詳細を示す。

3.2 階層構造

本論文では、ネットワーク上の各装置の設定情報と、各装置の接続関係を表す情報を合わせたものを構成情報と呼ぶ。

仮想ネットワーク管理情報モデルは、複数の階層を持つグラフである。本情報モデルは、物理的なネットワーク装置の構成情報を表すグラフの層（物理層）を土台とし、その上に仮想的なネットワーク装置の構成情報を表すグラフの層を複数持つ。現在はVLAN相当の論理イーサネット層まで定義済みである。仮想ネットワークに関する層を複数定義している理由は、管理者が複数の観点から仮想ネットワークの状態を把握できるようにするためである。

本情報モデルは、各層の要素の接続関係をノード、インタフェースおよびリンクの組合せとして表現する。ノードは複数のインタフェースを持ち、リンクはそれらのインタフェースどうしを接続する。また、インタフェースとリンクを介して相互接続されたノードの集合を、ネットワークとして表現する。各層の処理をできるだけ共通化するため、この基本構造はすべての層で共通とした。

図4は、仮想ネットワーク管理情報モデルを使って論理的なネットワークを表現した例である。この図は、ブレード0のLPAR1はVLAN10に接続されるようにVNIC設定済み、LPAR2はVLAN20に接続されるようにVNIC設定済み、ブレード1のLPAR3はVNICが未設定のために孤立している、という前提で記載した。

それぞれの層の特徴を以下に示す。

(1) 物理層

この層は、物理的なネットワーク装置の構成情報を表す。各ネットワーク装置の設定情報は、物理ノードの情報の中に、各ネットワーク装置に固有の形式で格納される。物理ノードの情報には、ハイパーバイザの設定なども含む。したがって、本情報モデルは複数の異なるハイパーバイザを表現することが可能である。また、物理的なネットワーク装置に対する設定変更手順のデータ（4.2節）もこの層に含まれる。バーチャル層以上のすべてのデータは、物理層のデータをもとに生成される。したがって、物理層のデータのみをXMLファイルなどに出力することで、異なるプログラム間で本情報モデルに基づくデータ全体をやりとりすることが可能である。

(2) バーチャル層

この層は、実質的にネットワーク装置として振る舞う要素（仮想マシン、LPAR、仮

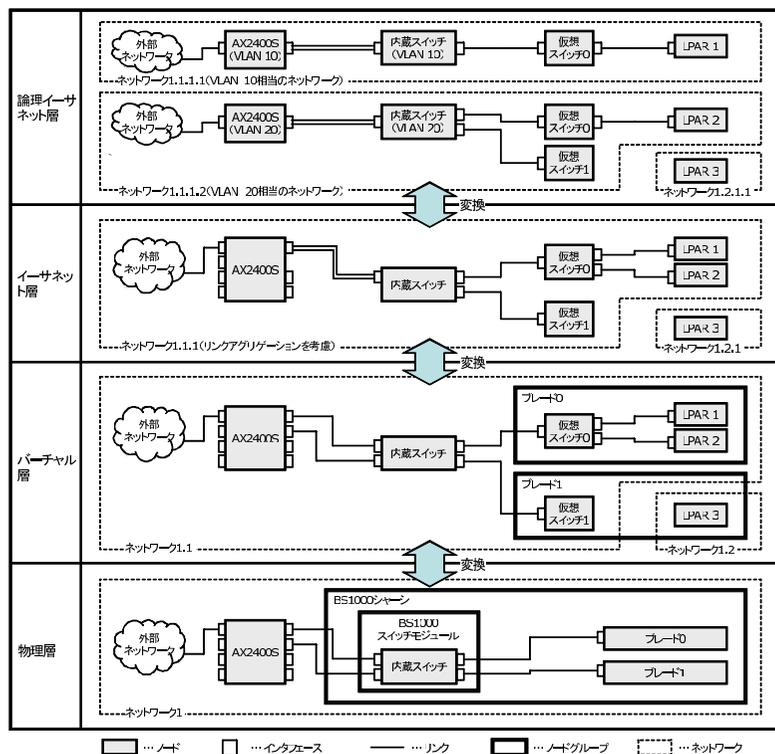


図 4 仮想ネットワーク管理情報モデルを用いた表現の例

Fig. 4 Example of expressing network with virtual network management information model.

想スイッチなど)の接続関係や、それらの設定情報を表す。物理層の設定とは異なり、バーチャル層より上の層の設定情報は一般化されたデータ構造で表現される。バーチャル層の上には、将来的にイーサネット層以外の層も追加することができる。その一例としては、SAN のためのファイバチャネル層が考えられる。

(3) イーサネット層

この層は、イーサネット装置として振る舞う要素の接続関係や、それらの設定情報を表す。この層では通常のノードとスイッチ機能を持つ特殊なノード(ハブ)を区別しており、イーサネットフレームが「設定次第で」到達可能な範囲をネットワークとし

て表現する。また、同じリンクアグリゲーショングループに属するリンクは、イーサネット層以上の層では1本のリンクとして束ねられる。

ただし、サーバ OS 上に仮想スイッチをインストールする可能性まで含めると、「設定次第で」到達可能な範囲は大幅に広がり、管理者にとって意味のある区分にならない恐れがある。そのため、本情報モデルは、ハイパーバイザ上で動作する仮想スイッチは対象とするが、サーバ OS 上で動作する仮想スイッチは対象外としている。

(4) 論理イーサネット層

この層はイーサネット層とよく似ているが、VLAN やフィルタの設定を考慮し、イーサネットフレームが「実際に」到達可能な範囲をネットワークとして表現する。つまり、1つの論理イーサネットネットワークは、1つの VLAN に相当する。

1つのイーサネットノードが複数の VLAN に接続されている場合は、1つのイーサネットノードから複数の論理イーサネットノードが生成され、それらのノードは各 VLAN に対応した論理イーサネットネットワークに含まれる(例:図4のAX2400S)。

3.3 仮想ネットワークの生成

一般的に、物理的なネットワーク装置の設定情報は、各装置の中に装置固有のデータ形式で格納される。もしも、装置固有の設定情報をそのままの形で本情報モデルの複数の層に点在させた場合、各層の間の変換処理も装置固有になる。その結果、本情報モデルに基づくネットワーク管理システムに対して、管理可能な装置の種類を増やすことが困難になる恐れがある。

そこで執筆者は、本情報モデルの前提として、装置固有の処理は物理層とバーチャル層の間だけに限定し、バーチャル層より上のデータはその下層のデータから生成できることとした。物理層の要素は装置固有の設定情報を格納する領域を持つが、バーチャル層より上の層の設定情報は一般化されたデータ構造で表現される。物理層とバーチャル層の間の変換処理は、ネットワーク管理システムに対するプラグインとして追加することを想定する。

図5は、物理層のプラグイン構造を表現した図である。本情報モデルに基づくネットワーク管理システムで新しい種類の装置を管理したい場合は、その要素に対応する物理層のノード、インタフェース、リンクなどのプラグインを、そのシステムに追加する。各プラグインには、必ず以下の2種類の変換処理を含めることとする。

- 物理層の設定情報から、バーチャル層の要素の設定情報を生成する処理
- バーチャル層の設定情報への変更内容から、物理層の設定情報を変更し、かつ物理的なネットワーク装置への変更手順を生成する処理

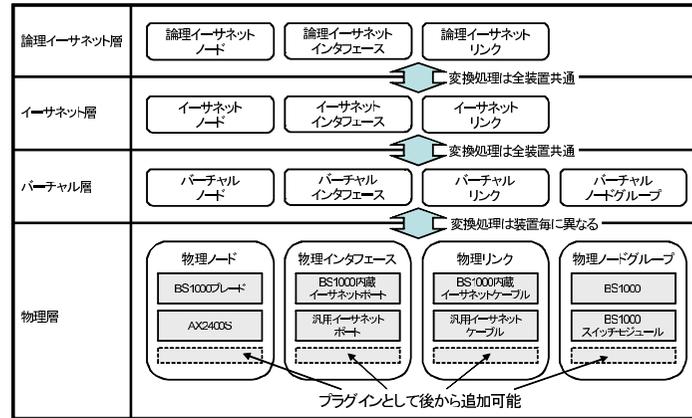


図 5 物理層のプラグイン構造
Fig. 5 Plug-in structure of physical layer.

以上のように設計した情報モデル，および本情報モデルに基づくネットワーク管理システムは，3.1 節の要件 1 および 2 を満たすことができる。

4. 仮想ネットワーク管理システム

本研究で提案する仮想ネットワーク管理システムは，仮想ネットワークの設定を単純化し，その設定を管理者が容易に確認，変更できる統一的なユーザインタフェースを提供する。

仮想ネットワーク管理システムの主な機能は，構成情報の自動取得，構成変更時の作業手順書の生成，ネットワーク図の生成である。表 1 は，2 章で示した課題と，本システムの機能の関係を示した表である。また図 6 は，本システムの機能ブロックと，文書作成の流れを示した図である。本章では，これらの機能について述べる。

4.1 構成情報の自動取得

本システムでは，各装置の設定情報の取得にかかる時間を短縮するため，設定情報の取得を自動化した¹³⁾。本節ではその概要を述べる。

サーバ情報取得機能およびスイッチ情報取得機能は，この自動取得を行う。また，上記取得機能は各装置間の接続関係もできるだけ自動検出しようとするが，自動検出が難しい接続関係については，管理者が明示的に入力できるようにした。

各機能ブロックは，仮想ネットワーク管理情報モデルの物理層の XML 表現に基づいて，

表 1 課題とその解決手段

Table 1 Problems and their solutions.

課題	解決手段
(1) 物理的なネットワーク装置と仮想的なネットワーク装置の管理手段の統一	ネットワーク管理の知識が乏しいサーバ管理者でも，その設定を容易に確認，変更可能な，統一されたユーザインタフェースを提供する (4.2 節, 4.3 節)。
(2) ネットワーク運用に関する文書の作成にかかる時間の短縮	設定手順書およびネットワーク図を自動生成する機能を提供する (4.2 節, 4.3 節)。
(3) 各装置の設定情報の取得にかかる時間の短縮	各装置の設定情報を自動取得する機能を提供する (4.1 節)。

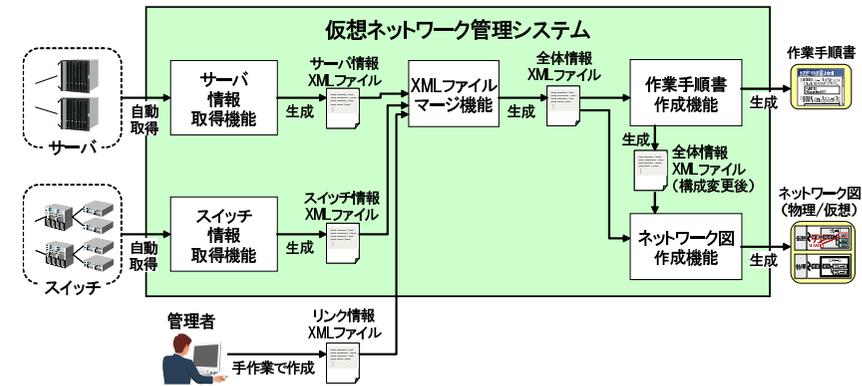


図 6 仮想ネットワーク管理システムを用いた文書作成の流れ
Fig. 6 Workflow for documentation with virtual network management system.

構成情報を XML ファイルに保存する。また，この XML ファイルを機能ブロック間でやりとりする。

サーバ情報取得機能は，サーバ装置およびその上で動作する仮想マシンモニタの設定情報を自動取得する機能である。本機能は，サーバベンダ各社固有のコンソールや API を通じてこれらの設定情報を取得する。サーバ装置とその周囲のネットワーク装置 (例：ブレードサーバの内蔵スイッチ) との接続関係を自動検出できる場合は，その接続関係も XML ファイルに含める。

スイッチ情報取得機能は，スイッチ装置の設定情報および各スイッチ間の接続関係を自動取得する機能である。本機能は，スイッチ装置に広く実装されている Simple Network

Management Protocol (SNMP) や NETCONF などのプロトコルを通して設定情報を取得する。また、Link Layer Discovery Protocol (LLDP) に対応したスイッチ装置からは、SNMP を通して各スイッチ間の接続関係を自動検出できる。この自動検出できた接続関係も XML ファイルに含める。

XML ファイルマージ機能は、サーバ情報取得機能が生成した XML ファイルと、スイッチ情報取得機能が生成した XML ファイルを結合して、ネットワーク全体の構成情報を表す XML ファイルを生成する機能である。また、自動取得できない情報（たとえばサーバ装置とスイッチ装置の間の接続関係）を含む XML ファイルを管理者が手作業で作成し、自動取得した情報とマージすることができる。

4.2 構成変更時の作業手順書の生成

作業手順書作成機能は、ネットワーク全体の構成情報を表す XML ファイルを読み込み、仮想ネットワーク（バーチャル層以上）の情報を自動計算する。そのうえで、仮想ネットワークに対する管理者の操作に基づいて、各装置に対して行う必要のある作業を列挙した作業手順書を生成する。たとえば「仮想マシン 1 番を VLAN ID が 10 の VLAN に接続する」といった抽象的な操作に基づいて、サーバ装置やスイッチに対する具体的な作業手順書を生成する。

データセンタ内のネットワーク管理には、イーサネットに関する管理、IP に関する管理、および SAN に関する管理などがある。本研究では、サーバ管理者から要望としてあがったイーサネットに関する管理のうち、特に行われる頻度の高い VLAN の管理に関する検討を行った。

現在、本研究で作業手順書の生成方法を確立済みの操作は、以下の 3 種類である。仮想マシンの構成変更と同期した VLAN 設定については、以下の 3 種類でほぼ網羅できる。

1. 特定の仮想マシンを、特定の VLAN に接続する。
2. 特定の仮想マシンを、特定の VLAN から切断する。
3. 特定の仮想マシンを、現在のサーバ装置とは異なるサーバ装置に移動する（マイグレーション）。

図 7 は作業手順書の一例である。作業手順書は、その作業手順書全体が示す変更の概要、および各手順の詳細（手順番号、作業内容、各装置で実行するコマンドなど）のリストを含む。各手順の詳細は、物理層の各要素に対応するプラグイン（3.3 節）によって生成される。

また本機能は、作業手順書の生成と同時に、構成変更後のネットワーク全体の構成情報および作業手順書の内容を XML ファイルに出力することができる。後述するネットワーク図

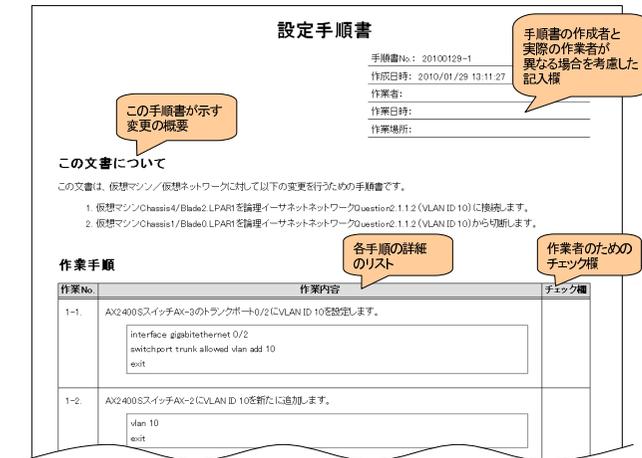


図 7 作業手順書の一例
Fig. 7 Example of operation manual.

作成機能は、この XML ファイルを用いてネットワーク図を生成する。

4.3 ネットワーク図の生成

ネットワーク図作成機能は、ネットワーク全体の構成情報を表す XML ファイルを読み込み、仮想ネットワーク管理情報モデルのバーチャル層以上の情報を自動計算する。そのうえで、管理者に対してネットワーク図の表示、レイアウト編集および印刷が可能なユーザインタフェースを提供する。

現在、本研究では物理ネットワーク図と仮想ネットワーク図という、2種類のネットワーク図を検討している。図 8 および図 9 は、各ネットワーク図の一例である。

物理ネットワーク図は、物理的な装置とその接続関係を表す図である。この図は、管理者が各装置の配置を把握したい場合に利用できる。この図は、仮想ネットワーク管理情報モデルの物理層のデータから作成できる。

仮想ネットワーク図は、物理的な装置と仮想的な装置の両方の接続関係を表す図である。この図は、管理者が仮想マシンや仮想スイッチを含めてシステム全体を把握したい場合に利用できる。この図は、仮想ネットワーク管理情報モデルのバーチャル層のデータから作成できる。また、論理イーサネット層（VLAN 相当）のデータを用いることで、管理者の要求に応じて特定の VLAN に属する装置を強調表示できる。

さらに、作業手順書作成機能が生成した XML ファイルを本機能に読み込ませた場合は、各作業の作業番号を、関係するノード上に表示することができる。これにより、管理者は作業手順書とネットワーク図を照らし合わせることで、作業の内容をより深く理解できるという効果がある。

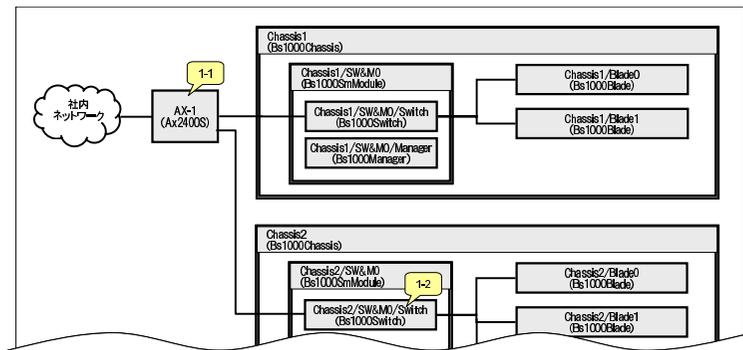


図 8 物理ネットワーク図の一例
Fig. 8 Example of physical network diagram.

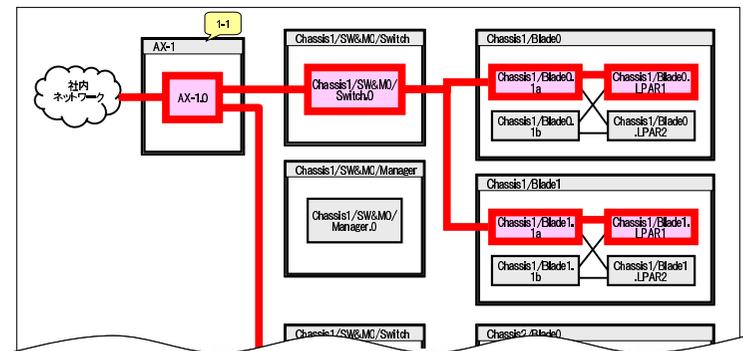


図 9 仮想ネットワーク図の一例
Fig. 9 Example of virtual network diagram.

5. 仮想ネットワーク管理システムの文書作成支援機能の評価

5.1 実験

仮想ネットワーク管理システムの文書作成支援機能の効果を評価するために、本システムを用いた場合と手作業の場合での、作業手順書の作成にかかる時間を比較する実験を行った。以下に、この実験の詳細を示す。

5.1.1 実験の目的と方法

今回の実験では、2.4 節であげた文書のうち、構成変更の際に必要な作業手順書の作成にかかる時間を測定した。作業手順書の作成作業は、以下の 3 つに分解できる (図 10)。

- (1) 設計
構成変更後の、各装置のあるべき設定情報および接続関係を決定する。
- (2) 作業手順の検討
(1) で決定した構成に移るために、各装置に実施すべき作業手順を検討し、列挙する。
- (3) 検討した作業手順の文書化
(2) で検討した作業手順を管理者間でレビューする、あるいは第三者が作業手順を実行するために必要な情報 (具体的なコマンド列など) を含む作業手順書を作成する。

仮想ネットワーク管理システムがある場合の作業手順書作成時間は、本システムの試作システムを用いて測定する。今回の実験では、仮想マシンを特定の VLAN に接続するための作業手順書の作成にかかる時間 ((1)~(3) の総和) を測定した。

また、今回の実験の 1 年前に行った実験 (以下、第 1 回実験) において、今回の実験と同じ被験者に対して、手作業での作業手順書作成時間を測定した。第 1 回実験では、被験者が設計および作業手順の検討を行い、その作業手順の概要を箇条書きするまでの時間 ((1) と (2) の総和) のみを測定した。作業手順の文書化にかかる時間 (3) を測定しなかった理

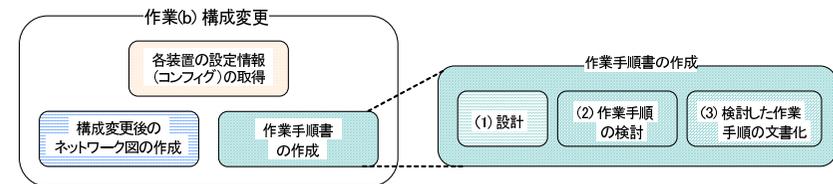


図 10 作業手順書の作成作業の内訳
Fig. 10 Operations in creating operation manual.

表 2 試作システムの CLI プログラムのコマンド
Table 2 Set of Commands in the prototype's command line interface.

種類	コマンド数	説明
基本コマンド	6 個	基本操作に関するコマンド群。構成情報を表す XML ファイルのロード (load), 作業手順書の作成 (export manual), 構成変更後の構成情報を表す XML ファイルの作成 (export world) など。
表示コマンド	6 個	CLI プログラムがロードした構成情報や, その構成情報から生成された仮想ネットワークに関するデータを表示するコマンド群。仮想マシン一覧の表示 (show lpar), スイッチ一覧の表示 (show switch), VLAN 一覧の表示 (show vlan) など。
設計コマンド	3 個	CLI プログラムがロードした構成情報に変更を加え, 構成変更後の構成情報とそれのための作業手順を生成するコマンド群。仮想マシンを特定の VLAN に接続する設計コマンド (connect lpar), 仮想マシンを特定の VLAN から切断する設計コマンド (disconnect lpar)。仮想マシンを現在のサーバ装置とは異なる装置に移動する設計コマンド (migrate lpar) の計 3 個を実装済み。

由は, 被験者に手作業で作業手順書を作成させた場合, 実験時間が長びく恐れがあったためである。そこで, 第 1 回実験の実験結果に (3) の予想値を加えることで, 今回の実験結果と比較した。

5.1.2 試作システム

比較実験のために, 執筆者らは仮想ネットワーク管理システムを試作した。被験者はこの試作システムのうち, 作業手順書作成機能のみを操作する。

試作システムの作業手順書作成機能は CLI を備えた Java^{*1} プログラムである。以下では, このプログラムを CLI プログラムと呼ぶ。本 CLI プログラムは, XML ファイルから構成情報 (物理層のデータ) をロードして, そのデータをもとにバーチャル層以上のデータを自動生成する機能を持つ。本 CLI プログラムのプロンプトでは, ロードしたデータを対象に, 各層のデータの閲覧, ネットワークの設計および作業手順書の作成を行うことができる (表 2)。

試作システムが現在サポートする物理ノードは, 統合サービスプラットフォーム BladeSymphony のブレードサーバ BS1000, およびレイヤ 2 スイッチ AX1240S, AX2400S, AX3630S である。

表 3 被験者に出題する問題

Table 3 Operation tests to subjects.

問題	BS1000 シャーシ	BS1000 ブレード	LPAR	AX2400S	問題の内容
1	2 台	2 枚/ シャーシ (計 4 枚)	2 個/ ブレード (計 8 個)	1 台	新しく追加したブレードの LPAR 1 を部署 A の VLAN 10 に, LPAR 2 を部署 B の VLAN 20 に接続するための手順を作成する問題。
2	4 台	3~4 枚/ シャーシ (計 14 枚)	1~2 個/ ブレード (計 26 個)	4 台	新しく追加したブレードの LPAR 1 を部署 A の VLAN 10 に, LPAR 2 を部署 B の VLAN 20 に接続するための手順を作成する問題。

5.1.3 実験の内容

被験者に対して, BS1000 上で動作する LPAR (仮想マシン相当) を特定の VLAN に接続するための作業手順書を作成する, という問題を出題する。そのうえで, 被験者が CLI プログラムを用いて作業手順書を作成し, その作業手順書の内容に問題がないと確認できるまでの時間を測定する。

作成された作業手順書の内容に従っても, 指定の LPAR が指定の VLAN に接続されない場合は「誤答」と判定し, 被験者に作業手順書の修正を求める。また, 作業手順書に従うことで指定の LPAR が指定の VLAN に接続されるが, その作業手順書に誤解に基づく不必要な手順が含まれていた場合は「余分な手順あり」と判定し, そこで問題への回答を終了する。不必要な手順の例としては, 問題文の指示とは無関係のポートの VLAN 設定を変更する手順や, すでに必要な設定が済んでいるポートに対して, 設定が済んでいないものと誤解して再度同じ設定を行う手順があった。誤解の有無は, 実験後に被験者と会話することで確認した。

問題は, 表 3 の 2 種類を出題する。問題は, 第 1 回実験と今回の実験で同じ問題を用いる。しかし, 第 1 回実験から今回の実験までに約 1 年経過しており, 慣れによる時間短縮の影響は少ないと考える。

試作システムを用いる実験では, 各問題の構成情報を含む XML ファイルを被験者へ事前に与える。仮想ネットワーク管理システムの構成情報取得機能 (4.1 節) は自動的に動作させることが可能であり, この機能を定期的に動作させることで, 最新の構成情報をつねに特定のサーバ上に保存することが可能である。実験対象のネットワークではこの機能を利用していると仮定し, 実験結果を評価する際は, 構成情報を含む XML ファイルの取得にかかる

*1 Java は, Oracle Corporation およびその子会社, 関連会社の米国およびその他の国における登録商標です。

表 4 被験者が利用できるネットワーク図の種類

Table 4 Categories of network diagrams which subjects can use.

CLI プログラムの実行状況	ネットワーク図の種類
設計コマンド実行前	物理 仮想 (VLAN 強調なし) 仮想 (特定の VLAN に属するノードを強調表示)
設計コマンド実行後	物理 (作業番号表示あり) 仮想 (VLAN 強調なし, 作業番号表示あり) 仮想 (特定の VLAN に属するノードを強調, 作業番号表示あり)

表 5 被験者の略歴

Table 5 Brief backgrounds of subjects.

被験者	職種	BS1000 操作経験	VLAN 設定経験
1	SE	なし	あり
2	研究者	あり	なし
3	研究者	あり	なし
4	SE	あり	あり
5	SE	なし	なし
6	SE	なし	なし

時間は 0 と見なした。

また、作業手順書の内容を検証するために、被験者は試験官に対してネットワーク図を要求できる。試作システムはネットワーク図作成機能 (4.3 節) を未実装のため、試験官は、被験者からの要求に応じて、あらかじめ紙に印刷しておいたネットワーク図を被験者に提供する。表 4 は、被験者が実験中に利用できるネットワーク図の種類である。

5.1.4 被験者

各被験者の職種および事前知識を表 5 に示す。第 1 回実験と第 2 回実験の間に、本実験以外での BS1000 操作経験および VLAN 設定経験に関する変化はなかった。

5.2 結果

表 6 は、各被験者の所要時間と解答の正否を示した表である。試作システムの列は今回の実験の結果、手作業の列は第 1 回実験での手作業の結果を示している。

表 7 は、試作システムが生成する作業手順書に関するアンケートの結果を示した表である。

表 8 は、ネットワーク図に関するアンケートの結果を示した表である。問題用紙 (物理ネットワーク図相当を含む) は全員に配布したため、要求した人数は「-」とした。

表 6 所要時間および回答の正否

Table 6 Time required to answer and the result of the tests.

被験者	試作システムを使用		手作業	
	問題 1	問題 2	問題 1	問題 2
1	14 分 16 秒 正答	9 分 28 秒 正答	13 分 3 秒 余分な手順あり	21 分 18 秒 余分な手順あり
2	12 分 43 秒 正答	9 分 8 秒 正答	17 分 36 秒 誤答, 2 回目に正答	14 分 34 秒 誤答, 2 回目に正答
3	3 分 7 秒 正答	2 分 55 秒 正答	7 分 56 秒 余分な手順あり	10 分 0 秒 正答
4	9 分 2 秒 正答	12 分 57 秒 正答	15 分 24 秒 余分な手順あり	11 分 9 秒 正答
5	8 分 14 秒 正答	7 分 13 秒 正答	20 分 44 秒 余分な手順あり	18 分 44 秒 正答
6	6 分 22 秒 正答	4 分 36 秒 正答	14 分 1 秒 誤答, 2 回目に正答	12 分 1 秒 正答
平均	8 分 57 秒	7 分 43 秒	14 分 47 秒	14 分 38 秒
標準偏差	3 分 44 秒	3 分 18 秒	3 分 58 秒	4 分 7 秒

表 7 作業手順書に関するアンケートの結果

Table 7 Result of questionnaire about operation manual.

質問		分かりやすかった	分かりにくかった	どちらともいえない
ネットワーク図なしでの	問題 1	1 名	3 名	2 名
作業手順書の分かりやすさ	問題 2	1 名	3 名	2 名
ネットワーク図と併せた場合	問題 1	6 名	0 名	0 名
の作業手順書の分かりやすさ	問題 2	6 名	0 名	0 名

5.3 考察

今回の実験結果から、以下の 2 つの結果を読み取ることができる。

1. 試作システムを使うことで、作業手順書の作成にかかる時間および設計ミスを大幅に削減できた。これは、仮想ネットワーク管理システムがサーバ仮想化環境におけるネットワーク管理負荷の低減に効果があることを示している。
2. 被験者が作業手順書を理解する際に、仮想ネットワーク図が大いに役立った。これは、仮想ネットワーク管理システムが作業手順書作成機能とネットワーク図作成機能の両方を備えるべきであることを示している。

5.3.1 作業手順書の作成時間に関する考察

表 6 の平均値を見ると、試作システムを用いた場合と手作業の場合の両方で、問題 1 よ

表 8 ネットワーク図に関するアンケートの結果

Table 8 Result of questionnaire about network diagrams.

問題	CLI プログラム の実行状況	ネットワーク図の 種類	実験中に 要求した	手順書理解に 役立った	手順書理解に 役立たなかった
1	問題用紙 (物理ネットワーク図相当)		-	2 名	0 名
	設計コマンド 実行前	物理	1 名	0 名	1 名
		仮想 (強調なし)	1 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 10 強調)	4 名	3 名	1 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	4 名	3 名	1 名
	設計コマンド 実行後	物理	1 名	1 名	0 名
		仮想 (強調なし)	1 名	0 名	1 名
		仮想 (VLAN 10 強調)	2 名	2 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	2 名	2 名	0 名
		仮想 (VLAN 10 強調)	2 名	2 名	0 名
仮想 (VLAN 20 強調)		2 名	2 名	0 名	
2	問題用紙 (物理ネットワーク図相当)		-	2 名	0 名
	設計コマンド 実行前	物理	1 名	1 名	0 名
		仮想 (強調なし)	0 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 10 強調)	2 名	2 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	2 名	2 名	0 名
		仮想 (VLAN 30 強調)	0 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 40 強調)	0 名	0 名	0 名
	設計コマンド 実行後	物理	1 名	1 名	0 名
		仮想 (強調なし)	0 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 10 強調)	4 名	4 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	4 名	4 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	0 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	0 名	0 名	0 名
		仮想 (VLAN 20 強調)	0 名	0 名	0 名
仮想 (VLAN 20 強調)		0 名	0 名	0 名	

りも問題 2 の方が所要時間の平均が短い。これは、問題 1 を解くことで被験者が作業に慣れ、問題 2 では問題 1 よりも効率良く作業できたためと考えられる。したがって、以下では被験者が作業に慣れた問題 2 の所要時間を比較する。

表 9 は、試作システムを用いた場合と手作業の場合で、作業手順書の作成時間を比較した表である。

5.1.1 項で述べたとおり、第 1 回実験で測定した時間は設計および作業手順の検討にかかる時間 (表中の (1)~(2)) であり、作業手順の文書化にかかる時間 (表中の (3)) は含まれていない。作業手順を手作業で文書化する場合、各装置のマニュアルの確認や、文書化した作業手順の見直しなどが必要になる。そこで、今回は作業手順の手作業での文書化には、1 手順あたり 5 分かかると仮定した。

以上の仮定に基づいて計算すると、VLAN 設定の作業手順書を手作業で作成した場合、作

表 9 作業手順書の作成にかかる時間の比較

Table 9 Comparison of time required to create operation manual.

作業手順書の 作成作業の内訳	試作システムを使用		手作業	
	問題 1	問題 2	問題 1	問題 2
(1) 設計	平均 8 分 57 秒	平均 7 分 43 秒	平均 14 分 47 秒	平均 14 分 38 秒
(2) 作業手順の検討			30 分 (6 手順 × 5 分)	55 分 (11 手順 × 5 分)
(3) 検討した作業手順の 文書化				
総計	平均 8 分 57 秒	平均 7 分 43 秒	平均 44 分 47 秒	平均 69 分 38 秒
手作業時からの短縮時間	平均 35 分 50 秒	平均 61 分 55 秒	-	-
手作業時に対する比率	20.0%	11.1%	-	-

業手順書の完成までに問題 2 では平均 69 分 38 秒の時間がかかった。一方、試作システムを用いて作業手順書を作成した場合、この時間を問題 2 では平均 7 分 43 秒にまで短縮できた。手作業での作成時間に対して、試作システムでの作成時間の比率は、問題 2 で 11.1% である。

また、試作システムを用いた場合は作業手順の作成ミスが発生しなかった。実際の運用現場では完成した作業手順書が関係者間で詳しくレビューされる。試作システムによって作業手順書の完成度が高まることで、このレビューにかかっている時間の短縮効果も期待できる。

5.3.2 作業手順書とネットワーク図の組合せに関する考察

表 7 のアンケート結果によると、ネットワーク図なしでの作業手順書の分かりやすさについては、被験者の間で意見が分かれた。一方、ネットワーク図とあわせての場合については、被験者全員から分かりやすかったという意見が得られた。このことから、仮想ネットワーク管理システムは、作業手順書作成機能とあわせてネットワーク図作成機能を提供すべきであることが分かった。

また、表 8 のアンケート結果から、今回の実験では LPAR の接続対象となる VLAN の仮想ネットワーク図 (VLAN 10 および VLAN 20) が、作業手順書の理解に役立ったことが分かった。

一方、被験者に対する実験後のインタビューでは、作業手順書およびネットワーク図の形式についての改善要望がいくつかあげられた。たとえば、今回の実験で用いたネットワーク図は詳細すぎるため、より抽象化してほしいという要望があった。作業手順書およびネットワーク図の適切な文書形式、および文書のカスタマイズ機能については今後の課題である。

6. 関連研究

本研究に先行した関連研究としては、データセンタのモデル化に関する研究、構成情報の自動取得に関する研究、およびネットワーク図に関する研究がある。

データセンタのモデル化に関して、Huang ら¹⁴⁾ は、アプリケーション、サーバ、ネットワーク、およびストレージの関係性を表現するグラフ型のデータモデルと、このデータモデルに基づくシステム管理ツールを示した。彼らのデータモデルは、アプリケーションまで考慮した障害の影響範囲の分析に適している。その一方、彼らのデータモデルは物理ネットワークと仮想ネットワークの関係性の詳細を含んでいない。したがって、彼らのデータモデルは、仮想ネットワーク管理情報モデルと補完的な関係にある。また新¹⁵⁾、二宮¹⁶⁾ らは、VLAN の設計および管理を自動化するための構成情報データモデルと、この構成情報データモデルに基づくネットワーク管理システムを提案している。しかし、この構成情報データモデルは仮想マシンおよび仮想スイッチをその管理範囲に含んでいない。

構成情報の自動取得に関して、Breitbart ら¹⁷⁾ は、IP ネットワーク装置が一般に備える SNMP MIB 情報などを自動収集し、物理的なネットワーク装置の接続関係を精度良く高速に推測する方法を示した。現在の試作システムのスイッチ情報取得機能は、LLDP 機能を有効にしたスイッチどうしの接続関係のみを自動取得しているが、Breitbart らの提案する方法を用いることで、より多くのネットワーク装置の接続関係を自動取得できるようになる。その一方、彼らの方法では、SNMP MIB への対応が十分でない仮想スイッチや、同一サーバ装置上の仮想マシン間の接続のみに用いられる仮想スイッチは検出できない。したがって、そのような仮想スイッチを含むネットワークでは、提案システムのサーバ情報取得機能および XML ファイルマージ機能は有用である。

本システムの生成するネットワーク図は管理者間の情報交換に用いるもののため、その相手の要望に合わせて、ネットワーク図の形式をカスタマイズできることは重要である。コンピュータネットワークに限らないネットワーク図の編集に関して、Dwyer ら¹⁸⁾ は、ユーザによる柔軟な編集を許しながら、その構造に対する制約を与えることでネットワーク図を自動整形するネットワーク図編集ツールを示した。今回の実験の評価対象は作業手順書のみだったが、このような技術はネットワーク図の作成にかかる時間を短縮する可能性がある。また、兒玉ら¹⁹⁾ は、ネットワーク図の視認性の評価項目として、リンクの長さの平均と分散、リンクどうしの交差数、リンクとノードの重複数を提案している。今後ネットワーク図の作成にかかる時間を評価する際には、その視認性もあわせて考慮することが課題である。

7. おわりに

本研究では、大規模なサーバ仮想化環境におけるネットワークの運用管理負荷低減のために、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（以下、仮想ネットワーク管理システム）を検討した。

この仮想ネットワーク管理システムの有効性を評価するために、執筆者らは本システムを試作した。そして、サーバ SE などを対象に、試作システムを用いて VLAN 設定の作業手順書を作成してもらうという実験を行った。本実験では、VLAN 設定の対象として、ブレードサーバ筐体 4 台規模のシステム構成を用意した。

実験の結果、VLAN 設定の作業手順書を手作業で作成した場合、作業手順書の完成までに平均 69 分 38 秒の時間がかかった。一方、試作システムを用いて作業手順書を作成した場合、この時間を平均 7 分 43 秒にまで短縮できた。つまり、作業手順書作成時間を最大で手作業の場合の 11.1% にまで短縮することができた。さらに、実験後に行った被験者へのアンケート結果から、作業手順書とあわせてネットワーク図を提供することで、作業手順書に対する被験者の理解が深まるとの評価結果を得た。

以上の結果から、本システムは作業時間の短縮を通じたデータセンタの管理コスト低減に有効であることが明らかになった。

今後の課題は、作業手順書およびネットワーク図の適切な文書形式およびカスタマイズ機能の検討、データセンタ管理で必要となる他の文書への本システムの適用方法の検討、および大規模環境での本システムの性能評価である。

謝辞 実験にご協力いただいた（株）日立製作所ならびに（株）日立ソリューションズの皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) VMware, Inc.: VMware vSphere 4. <http://www.vmware.com/products/vsphere/> (accessed 2010-12-02).
- 2) 日立製作所: Virtage. <http://www.hitachi.co.jp/virtage/> (accessed 2010-12-02).
- 3) 伊藤末明: 国内データセンターサービス市場 2009 年の推定と 2010 年～2013 年の予測, *Market Analysis*, #J9310103, IDC Japan (2009).
- 4) 草野賢一: 国内データセンターネットワークインフラストラクチャ市場 2008 年の分析と 2009 年～2012 年の予測, *Market Analysis*, #J9030102, IDC Japan (2009).
- 5) IBM Corp.: IBM Dynamic Infrastructure. <http://www-03.ibm.com/systems/>

- dynamicinfrastructure/ (accessed 2010-12-02).
- 6) Hewlett-Packard Development Company, L.P.: HP Virtual Connect technology for the HP BladeSystem c-Class, 4th edition, HP whitepaper (2010).
 - 7) Cisco Systems, Inc.: Cisco VN-Link: Virtualization-Aware Networking, whitepaper (2009).
 - 8) Xsigo Systems, Inc.: Xsigo VP780. <http://www.xsigo.co.jp/products/index.html> (accessed 2010-12-02).
 - 9) Cisco Systems, Inc.: Cisco Nexus Series. http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/switches/dc_switches.html (accessed 2010-12-02).
 - 10) 吉澤政洋, 垂井俊明, 沖田英樹: サーバ仮想化環境における管理コストを低減するネットワーク管理システムの実装および評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.273, pp.71-76 (2009).
 - 11) Okita, H. and Yoshizawa, M.: Virtual Network Management Information Model, IETF Internet-Draft, available from (<http://tools.ietf.org/html/draft-okita-ops-vnetmodel-03>) (accessed 2010-12-02).
 - 12) Yoshizawa, M., Tarui, T. and Okita, H.: Implementation and Evaluation of Network Management System to Reduce Management Cost Caused by Server Virtualization, *Proc. 2nd Workshop on Data Center – Converged and Virtual Ethernet Switching (DC CAVES)* (2010).
 - 13) Okita, H., Yoshizawa, M., Uehara, K., Mizuno, K., Tarui, T. and Naono, K.: Proposal of Virtual Network Configuration Acquisition Function for Data Center Operations and Management System, *Proc. 5th Workshop on Virtualization and High-Performance Cloud Computing (VHPC 2010)* (2010).
 - 14) Huang, H., Ruan, Y., Shaikh, A., et al.: Building end-to-end management analytics for enterprise data centers, *Proc. 11th IFIP/IEEE International Conference on Symposium on Integrated Network Management (IM2009)*, pp.661-675, IEEE Press (2009).
 - 15) 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, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.275, pp.25-30 (2008).
 - 16) 二宮 恵, 新 麗, 加藤雅彦: データモデルに基づくネットワークシステム管理のプロトタイプ構築—ネットワークシステム管理支援のためのプロトタイプシステムの実装, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.275, pp.31-36 (2008).
 - 17) Breitbart, Y., Garofalakis, M., Jai, B., et al.: Topology discovery in heterogeneous IP networks: The NetInventory system, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.12, No.3, pp.401-414 (2004).
 - 18) Dwyer, T., Marriott, K. and Wybrow, M.: Dunnart: A Constraint-Based Network Diagram Authoring Tool, *Proc. 16th International Symposium on Graph Drawing (GD'08)*, pp.420-431 (2009).

- 19) 兒玉清幸, 釜崎正吾, 吉田和幸: ネットワーク構成情報表示システムのための自動配置アルゴリズムの評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2007) シンポジウム論文集, pp.1754-1761 (2007).

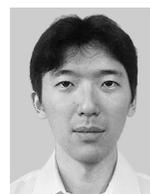
(平成 22 年 6 月 1 日受付)

(平成 22 年 12 月 1 日採録)



吉澤 政洋 (正会員)

1979 年生。2001 年東京理科大学工学部情報部学科卒業。2003 年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。現在, (株) 日立製作所中央研究所研究員。データセンターネットワーク運用管理, 企業内での情報共有および業務実態把握に関する研究に従事。



沖田 英樹

1978 年生。2000 年京都大学工学部電気電子工学科卒業。2002 年同大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。現在, (株) 日立製作所中央研究所研究員。入社以来, ネットワーク運用管理システム, ネットワーク機器設定プロトコル, ネットワーク管理モデルの研究開発に従事。電子情報通信学会, IEEE-ComSoc

各会員。



上原敬太郎 (正会員)

1970 年生。1993 年東京大学理学部情報科学科卒業。1995 年同大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。1998 年同大学院理学系研究科情報科学専攻博士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。現在, (株) 日立製作所中央研究所主任研究員。入社以来, サーバアーキテクチャ, 仮想化, 運用管理の研究開発に従事。



垂井 俊明 (正会員)

1962年生。1985年東京大学工学部電子工学科卒業。1987年同大学大学院工学系研究科情報工学専門課程修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。入社以来中央研究所に勤務。現在、主任研究員。並列計算機、サーバアーキテクチャ、自律管理システム、仮想化の研究開発に従事。IEEE/Computer会員。
