

仮想ルータを活用したネットワーク構築演習 支援システムの開発

井 口 信 和^{†1}

多くの教育機関では、ネットワーク技術者育成のための演習が行われている。学習者は、演習において、ネットワーク機器を繰り返し操作することで、ネットワーク構築技能を習得する。しかし、実機を使った演習では、複数のネットワーク機器が必要である。このため、学習者がいつでも自由に実習できる環境を準備することは容易ではない。そこで、本研究では1台のPC上にネットワークが構築できるシステムを開発した。本システムによって、学習者は1台のPC上に自由にかつ仮想的にネットワーク構築の演習が実施できる。このシステムを仮想Linux環境であるUser Mode Linuxにより実現した。本システムは、仮想的なルータと仮想的なホスト、およびこれらの仮想的な機器を操作する機能から構成される。本研究では主に仮想ルータへのルーティングの設定操作の演習を対象とする。システムの評価実験を情報系の大学生13名に対して行った。実験の結果、ネットワークの構築演習については良好な評価を得た。しかし、仮想機器の操作機能に課題があることが分かった。

Development of a System to Support Computer Network Construction Practice Using Virtual Router

NOBUKAZU IGUCHI^{†1}

Practices for training network engineers are being given in many educational institutions. In practice, learners master computer network construction skills by operating network equipments repeatedly. However, in practice by real networking equipments, learners need two or more networking equipments. For this reason, it is not easy for learners to prepare a training environment that learners can practice freely at any time. Therefore, I have developed a system that can construct networks on one PC. Using this system, learners can practice network construction freely and virtually on just one PC. We have implemented this system by applying the virtual Linux environment User Mode Linux. This system consists of virtual routers, virtual hosts, and functions that operate these virtual equipments. In this research, we mainly aim routing operation practice to the virtual router. To evaluate the system, the system was experimented by

13 undergraduate students studying informatics. The results indicated that the system satisfactory about network construction practice. However, we found some problems remained with the operating function for virtual equipments.

1. はじめに

社会の隅々にまでコンピュータネットワークが浸透し、わが国におけるインターネットの人口普及率は平成20年度末には75.3%と推計されている¹⁾。これにともない、ネットワーク技術に精通した技術者の需要が高まっている。しかし、国内におけるネットワーク技術者は不足しており、高い専門知識とスキルを持ったネットワーク技術者の早期の育成が必要とされている。

大学をはじめとする多くの教育機関では、ネットワーク技術者の養成を目的とした教育として、書籍や資料による講義とルータなどのネットワーク機器を用いた演習が行われている。講義では、通信プロトコルの仕様などネットワークに関係する知識について学習する。一方、実機を用いた演習では、技能の習得と講義で得た知識の確認が可能となる。

実機を用いたネットワークの構築演習としては、CCNA (Cisco Certified Network Associate) の取得を目的とするシスコネットワーキングアカデミー²⁾ (以下、CNA) が世界中の教育機関で実施されている。CNAは、ルータやスイッチの設定作業を繰り返し演習することで、ルータなどの設定に関する技能を習得することを目的としている。しかし、CNAに代表される実機を用いたネットワークの構築演習では、必ず複数台のネットワーク機器が必要となる。このため、学習者がいつでも手軽に演習に取り組める環境を整備することは容易ではない。

そこで本研究では、User Mode Linux³⁾ (以下、UML) を活用することで、仮想的なルータと仮想的なホストなどを用いるネットワーク構築演習支援システム (以下、本システム) を開発した。UMLは仮想Linux環境ソフトウェアとして広く知られている。本システムは、1台のPC上に仮想的なネットワークの構築が可能のため、実機による演習を補助し、実機を用意できない環境でもルータなどの設定演習を可能とする。実機を用いた演習と比べて、いつでも手軽にネットワークの構築演習が実施できる。本システムは、仮想的なルータ

^{†1} 近畿大学理工学部情報学科

Department of Informatics, School of Science and Engineering, Kinki University

と仮想的なホストの操作・設定作業によって、ネットワークの構築演習を可能とする。本研究では、主にルータへのルーティングの設定演習を扱い、複数の方式のルーティングプロトコルの設定演習を可能とする。

本論文では、まず2章で関連研究の紹介を行い、3章でシステムの設計方針と構成について述べる。4章で機能の詳細について述べ、5章で評価実験とアンケート結果を示す。最後に6章でまとめを述べる。

2. 関連研究

ネットワーク技術者の育成を目的とした学習環境の構築やツールの開発に関する多くの研究が行われている^{4)–17)}。荒井らは、実ネットワークの通信データを取得・可視化することで教材として利用し、データ構造と通信処理の手順について学習するツールを開発している¹⁸⁾。学習者が使用しているPCが送受信したデータを取得し、そのデータを可視化するツールである。このため、ルータなどネットワーク機器が送受信したデータを学習者に提示することはできない。また、ネットワークの構成を学習者が任意に変更することはできない。

中川らは、仮想マシン環境ソフトウェア VMware Workstation を利用して、個々の学習者が LAN の設計から構築・運用までを学習するシステムを開発している¹⁹⁾。しかし、このシステムを利用するためには実機のルータが必要である。また、通信を可視化する機能を備えていない。

本研究に関連するシステムとして、立岩らの開発したシステムがある²⁰⁾。これは、UML を利用した LAN 管理者育成のためのシステムであり、Web サーバの構築やトラブルシューティングなどを対象としている。学習者が構築した LAN と TCP/IP 理論との関連付け学習を目的としたシステムであり、パケットの処理手順が分かりやすく表示されるものである。サーバなどの設定は、用意された GUI に設定値を入力することで実行される。GUI によって機器の設定を行うことで、操作の負担を少なくすることを目的としているため、汎用的なネットワークコマンドを用いた構築演習は対象としていない。また、ルーティングに関する詳細な設定を対象としたものではない。さらに、あらかじめ基本的な構成のネットワークが用意されているが、学習者が構築した LAN の設定を保存する機能はない。

ネットワークシミュレータとして広く使われている ns-2²¹⁾ は、ネットワークのトポロジや通信処理を記述したシナリオファイルを読み込んでシミュレーションを行う。ns-2 では、シミュレーションしたいネットワークの構成や機器の設定を TCL (Took Command Language) を用いて記述する必要がある。したがって、機器の設定値を変更するには、シ

ナリオファイルを編集しなおす必要がある。

これらに対して本システムは、立岩らのシステムを参考に、ルータなどネットワーク機器の設定演習を対象として開発しており、ネットワーク技術者の育成を対象とする。本システムは、ネットワーク技術を学ぶ初学者を対象に、ルータに対して、方式の異なる複数のルーティングの詳細な設定を施す演習と、汎用的に使用できるネットワーク関係のコマンドを使う演習を可能とする。本システムでは、学習者向けとしてターミナルからのコマンド入力によってネットワーク機器の設定を行う機能と、指導者向けとして GUI にパラメータを入力することによって設定を行う機能の両方を備えている。さらに、本システムでは、学習者が構築したネットワーク上の機器の設定情報の保存と保存した設定情報からのネットワークの再構築が可能のため、構築演習の中断と再開が簡単に行える。また本機能は、指導者や他の学習者が作成した設定情報の再利用も可能とする。さらに指導者の利便性を高めるため、仮想マシンを起動せずに、演習に必要な機器の設定情報を作成できる機能を有している。本システムは、シナリオファイルを用いるシミュレータとは異なり、実機と同じコマンドによって機器の設定を逐次変更することが可能であり、実際にルータとホストを動作させた場合と同じに動作させることができる。

3. システムの概要

本システムは、1 台の PC 上に仮想的なネットワークの構築を可能することで、実機による演習を補助し、実機を用意できない環境でもルータなどの設定演習が実施できることを目的とする。ここでは、本システムの設計方針と、システムの構成および実装方法について述べる。

3.1 システムの設計方針

ネットワーク技術者の養成を目的として世界中で広く実施されている CNA のカリキュラムを参考に、ネットワーク構築技術の初学者が演習する項目を以下に整理した。学習者は、書籍などによって、TCP/IP に関する学習を終えているものとする。

- ルータの起動方法
- ルータとルータおよびルータと PC の接続方法
- コマンドによるルータの操作方法
- 方式の異なる複数のルーティングプロトコルの設定方法
- ルータの出力結果の解釈
- PC のネットワークコマンドの使用方法

ネットワーク構築技術の初学者は、上記の演習を繰り返し実施することで、まず、コマンドによるルータの操作方法とルータへのルーティングの設定方法を習得する。続いてルータにおける NAT や DHCP などの設定方法、L2 スイッチによる VLAN 構築などの演習へ進む。そこで、本システムでは、上記の演習項目を実施するために、次の項目を実現する機能とする。

- 1 台の PC 上で複数台の仮想ネットワーク機器を起動する機能
- 仮想ネットワーク機器どうしを簡単に接続する機能
- コンソールにコマンドを入力することでルータを操作する機能
- ルータへの静的ルーティングの設定機能
- ルータへの動的ルーティングの設定機能
- ルータの出力結果をコンソールに表示する機能
- 出力結果の解釈が正しいかを確認する機能
- PC のネットワークコマンドを操作する機能

動的ルーティングは、RIP (ディスタンスベクタ方式) と OSPF (リンクステート方式)、BGP を扱うこととする。これにより方式の異なる複数のルーティングプロトコルの設定演習を可能とする。さらに、指導者の利便性を考慮して、GUI による設定機能も実現する。また、演習の中断と再開が自由に実施できる機能も実装する。

3.2 システムの構成

本システムの構成を図 1 に示す。本構成では、学習者が直接操作するインタフェースを担当する「仮想ネットワーク操作機能」、仮想マシンの制御を担当する「仮想マシン管理機能」、仮想ネットワークと仮想マシンの動作の提示を担当する「通信データ管理機能」および構築した仮想ネットワークの保存と再現を担当する「仮想ネットワーク定義管理機能」の 4 つにモジュール化した。機能的に独立した単位に分けてモジュール化することで、システムの機能の強化や拡張が容易に可能となる。たとえば、新規に開発した仮想ネットワーク機器を簡単に追加できる。さらにインタフェースに関係する機能を独立させることで、クライアントサーバモデルなどの利用形態への拡張も可能となり、システムの多様性が増す。

仮想的なネットワークの構築演習を実現するために、仮想 Linux 環境である UML を活用した。仮想化技術には、UML のほかに Xen²²⁾ や VMware²³⁾ など多く提供されているが、本研究では、UML は無償であり、ソースプログラムの改変が可能であることや、ネットワーク接続機能を持つこと、メモリ消費量が少なく軽快に動作するため一般的な性能の PC でも複数起動することができることから、UML を用いて実装した。さらに元来 UML

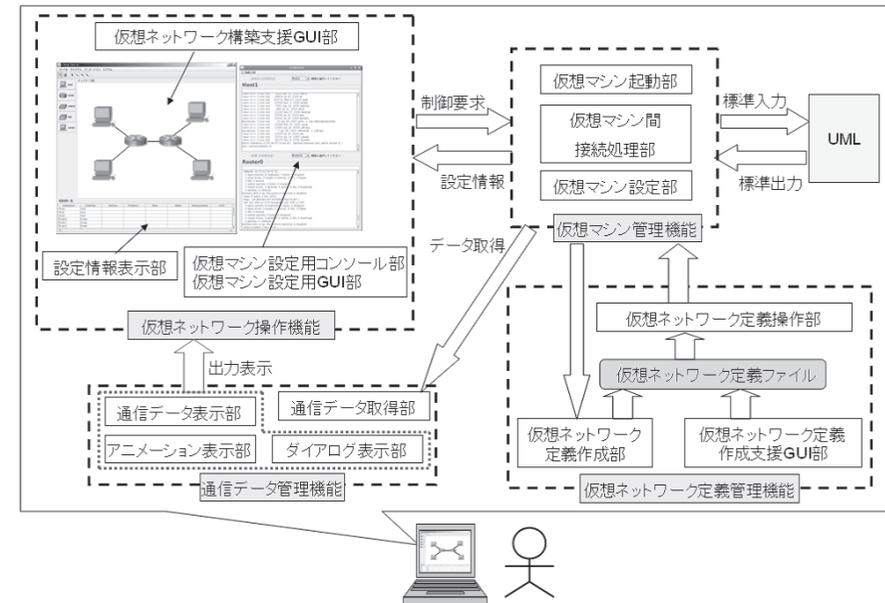


図 1 システム構成

Fig. 1 System structure.

はコマンド入力によって操作するものであるため、本システムの目的に合致している。本システムでは UML を改変した仮想マシンを仮想ネットワーク機器として使用する。本研究では、UML によって作成した仮想的なルータとホストおよびハブを仮想ネットワーク機器と呼ぶ。仮想的なハブは UML に用意されているものを使用する。仮想マシンを操作するための各機能の開発には Java 言語を用いた。

3.2.1 仮想ネットワーク操作機能

仮想ネットワーク操作機能は、学習者が直接操作する「仮想ネットワーク構築支援 GUI 部 (以下、構築支援 GUI)」と各仮想マシンの設定情報を表示する「設定情報表示部」、および仮想マシンの設定コマンドの入力と仮想マシンからの出力を表示するための「仮想マシン設定用コンソール部」と「仮想マシン設定用 GUI 部」から構成される。本システムを用いた演習では、コンソールからのコマンド入力による設定を標準的な使用方法とする。学習者はコンソールによって設定演習を実施する。一方、指導者が使用する際の利便性を考慮

して、GUI による設定機能も備える。指導者はコンソールまたは GUI のどちらかを選択し使用する。

学習者は構築支援 GUI を操作して、ネットワークの構築演習を実施する。本システムで活用する UML はコンソールアプリケーションであるため、設定によって仮想マシンどうしを接続しても、どの仮想マシンどうしが通信しているのかを直感的に把握することが難しい。さらにネットワーク機器どうしを接続しているという感覚を持つことができないという問題がある。そこで、本研究では立岩らのシステムと同様に GUI によって操作可能なプログラムを作成した。学習者は本 GUI を通して仮想的なネットワークを構築する。

実装した構築支援 GUI を用いて仮想ネットワークを構築する画面を図 2 に示す。本 GUI のレイアウトでは、トポロジを表示するネットワーク図を画面の中央に大きく配置した。ネットワーク図には、後述する通信データやダイアログ、アニメーションも表示するため、でき

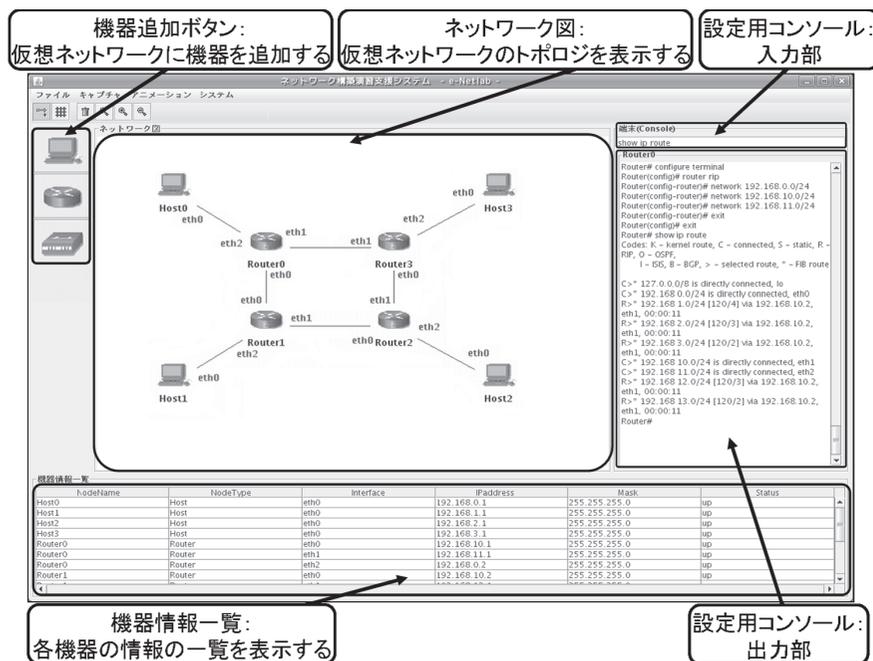


図 2 仮想ネットワークの構築
Fig. 2 Constructing a virtual network.

るだけ大きな領域を確保して見やすくした。機器情報一覧は、画面下部に配置することで、できるだけ多くの項目を 1 度に表示できるようにした。機器追加ボタンはネットワークの構築時に利用するだけであるため、ネットワーク図の左側に小さく配置した。ネットワーク図の右側には設定用コンソールを配置した。本 GUI の実装には、Java と JUNG2.0 ライブラリを用いた。機能の詳細は、4.1 節に述べる。

本機能より、3.1 節に整理した本システムの設計方針である、演習に必要なネットワークの機器の起動と、仮想ネットワーク機器どうしを接続する演習が実施できる。学習者はコンソールを使用して、仮想ルータと仮想ホストへのコマンド入力による演習が可能であり、指導者は GUI を使った設定も可能となる。さらに、仮想ルータと仮想ホストからの出力結果が提示できる。

3.2.2 仮想マシン管理機能

仮想マシン管理機能は、仮想マシンを起動する「仮想マシン起動部」と 2 台の仮想マシン間を接続する「仮想マシン間接続処理部」、および「仮想マシン設定部」から構成される。本システムでは、仮想マシン管理機能によって、仮想ルータと仮想ホストの起動・接続・設定作業を行う。

仮想マシン設定部は、仮想マシンの標準入出力と、前述の設定用コンソール部および GUI 部を連結する。本システムは、コンソールによる操作と GUI による操作の両方に対応させるため、コンソールと GUI に入力されたコマンドとパラメータを仮想マシンの標準入出力に渡すための機能として仮想マシン設定部を実装した。仮想マシンの標準出力は仮想マシン設定用コンソール部または GUI 部の表示部に実行結果として出力する。

仮想マシン起動時に使用する UML 用 Linux カーネルは、すべての仮想ネットワーク機器で同じものを使用する。ファイルシステムイメージには、Linux のディストリビューションの 1 つである Debian GNU/Linux をインストールした。このため、仮想ホストでは Debian GNU/Linux に含まれるコマンドが実行可能である。

仮想ルータ用のファイルシステムイメージには、ルーティングソフトウェアである Quagga²⁴⁾ をインストールした。仮想ルータを起動すると、Quagga のルーティングデーモンが起動し、同時にデーモンを設定するためのシェルである vtysh が起動するように実装した。Quagga では、静的ルーティングと RIPv1, RIPv2, OSPFv2, OSPFv3, BGP4 による動的ルーティングがコマンドにより設定可能である。

本機能により、起動要求のあったネットワーク機器に対応した仮想マシンの起動と設定が可能であり、接続要求のあった仮想マシンどうしを接続できる。さらに、方式の異なる複数

のルーティングプロトコルの設定演習が可能となり、本システムの目的を達成する。

3.2.3 通信データ管理機能

通信データ管理機能は、仮想ネットワーク上でやりとりされる通信データをキャプチャする「通信データ取得部」と、キャプチャした通信データをプロトコルフォーマットに従って表示する「通信データ表示部」から構成される。さらにキャプチャした通信データを使用することで通信を再現する「アニメーション表示部」と「ダイアログ表示部」から構成される。通信データ管理機能を実行すると、1度の操作で、構築した仮想ネットワーク全体の通信データを取得し、通信ログファイルとして保存できる。

通信データ取得部は、複数の仮想ネットワーク機器のネットワークインタフェースを通過する通信データを同時に取得するように実装した。取得した通信データは通信ログファイルとして保存する。

通信データ表示部、アニメーション表示部、ダイアログ表示部は、この通信ログファイルの内容を解析することで、様々な形式での表示を可能とする。通信データの表示の例は、4.2節に述べる。

本機能より、学習者が構築したネットワーク上の通信データを取得し、その内容を様々な形式で表示することが可能であり、仮想マシンの動作やプロトコルの動作を可視化表示できる。学習者は、仮想ルータと仮想ホストからの出力結果の解釈が正しいかを視覚的に確認することが可能となる。

3.2.4 仮想ネットワーク定義管理機能

仮想ネットワーク定義管理機能は、「仮想ネットワーク定義作成部」と「仮想ネットワーク定義操作部」および「仮想ネットワーク定義作成支援 GUI 部」から構成される。

仮想ネットワーク定義作成部は、仮想マシンの設定情報と仮想マシンの接続情報を、XML (Extensible Markup Language) で定義した仮想ネットワーク定義ファイル (以下、定義ファイル) として保存する機能である。仮想マシンが起動すると、各仮想マシンに1つの設定情報ファイルが作成される。学習者によって入力された設定コマンドとパラメータは設定情報ファイルに記述されると同時に仮想マシンで実行される。本システムでは、この設定情報ファイルを用いることで、定義ファイルの作成と各仮想マシンの設定情報の学習者への提示を行う。

定義ファイルを XML で記述することで、「機器名」の下に「設定値」を配置するといった階層構造をとることができる。階層構造を作成することで、定義ファイルからネットワークを再構築するとき、機器ごとの設定値を取り出す作業が容易になる。さらに、構築した仮

想ネットワークの情報を1つのXMLによる定義ファイルとして保存するため、作成した定義ファイルの配布が容易になる。たとえば、指導者が作成した模範解答を学習者に配布する場合、機器ごとの個別の設定ファイルを配布する必要はなく、1つの定義ファイルだけを配布すればよい。また、XMLで記述することで、複数の定義ファイルを統合するといった機能への拡張が容易になる。定義ファイルの詳細と事例は4.3節で述べる。

仮想ネットワーク定義操作部は、XMLで記述された定義ファイルを読み込むことで、本システム上に仮想的なネットワークを構築する。これにより、構築作業の中断・再開や、指導者が作成した模範解答からネットワークを再現することが可能となる。

仮想ネットワーク定義作成支援 GUI 部は、仮想マシンを起動せずに定義ファイルを作成する機能である。本システムには演習モードと定義ファイル作成モードがある。演習モードは、ネットワークの構築演習を行うために学習者が通常使用するモードである。定義ファイル作成モードは、定義ファイルを作成するために、主に指導者が使用するモードである。システム起動時にモードを選択する。仮想ネットワーク定義作成支援 GUI 部は、定義ファイル作成モードを選択した場合に使用する機能である。本機能により、IPアドレスやルーティング情報などの設定値を入力するだけで、定義ファイルが作成できる。本機能は、指導者が演習課題や模範解答を作成する場合の利便性を提供するためのものである。

仮想ネットワーク定義管理機能によって、構築したネットワークの保存と再現できるため、演習の中断と再開が可能となり、利便性が向上する。

4. 機能の詳細

本システムの機能の詳細を述べる。ここでは、本システムの構築支援 GUI 上に、仮想的なネットワークを構築していく手順と設定例を示す。次に通信データ管理機能によって取得した通信データを表示する例を示し、最後にXMLによって作成した定義ファイルの詳細について述べる。

4.1 仮想的なネットワークの構築と設定

学習者は、図2に示す構築支援 GUI を使って、ネットワークの構築演習を実施する。まず本 GUI 左側に配置した機器追加ボタンのアイコン群から、起動したい仮想ネットワーク機器を選択する。アイコンをクリックもしくはネットワーク図へドラッグアンドドロップすることで、新たな仮想ネットワーク機器が仮想ネットワークに追加され、対応する仮想マシンが起動する。次に、接続したい仮想ネットワーク機器間をマウスによってつなぐことで、結線する。

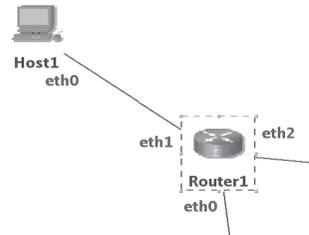


図 3 接続の表示例

Fig. 3 Example of connections.

本システムでは、仮想ネットワーク機器のアイコンの中心部分に結線ポイントを用意している。学習者が接続したい2つの機器の結線ポイント間をマウスでドラッグすると、`uml_switch` が起動する。`uml_switch` は、UML の標準的なツールであり、UML 間の接続を可能とするスイッチデーモンである。UML では、`uml_switch` の起動時に作成されるソケットファイルを経由することで、パケットのやりとりが可能となる。これにより、選択した2つの仮想ネットワーク機器間での通信が可能となる。さらに、接続を表す直線に、インタフェース名を示す文字ラベルを自動表示する。図3に機器の接続の表示例を示す。

起動と同時に、設定に使用するコンソールが起動する。学習者は、仮想マシン設定用コンソール部にコマンドを入力することで仮想マシンの設定が可能である。本システムでは設定用コンソールの利用を標準とするが、指導者がネットワークを構築する場合には、仮想マシン用設定 GUI 部を選択することも可能である。設定用 GUI 部を使用する場合は、必要な項目を GUI に入力することで設定できる。設定用 GUI 部を用いることで、指導者の利便性が向上する。

図4には仮想マシン設定用コンソールを用いた設定操作例を示す。本コンソールは図に示すとおり、上下2つに分割して使用できる。たとえば、下部で隣接するルータの設定内容を確認しながら、上部で別のルータの設定を行うという使い方が可能である。図5には、仮想マシン設定用 GUI を用いた設定操作例を示す。

起動したネットワーク機器に関する情報は、構築支援 GUI 下部の機器情報一覧に表示される。機器情報一覧に表示される項目は、機器名、機器の種類およびインタフェース名である。さらにインタフェースごとの IP アドレス、ネットワークマスクおよびインタフェースの状態 (up = 有効, down = 無効) を表示する。図6に表示例を示す。ネットワーク図の表示倍率は、拡大・縮小ボタンの操作によって変更可能である。

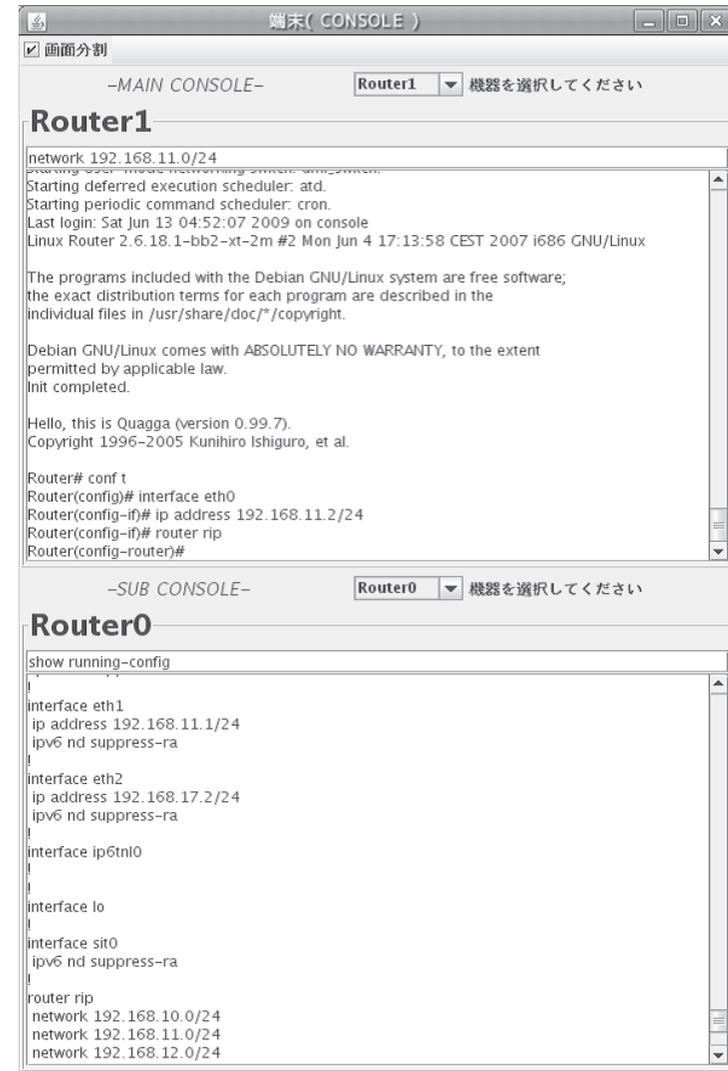


図 4 コンソールによる操作例

Fig. 4 Operation example on console.

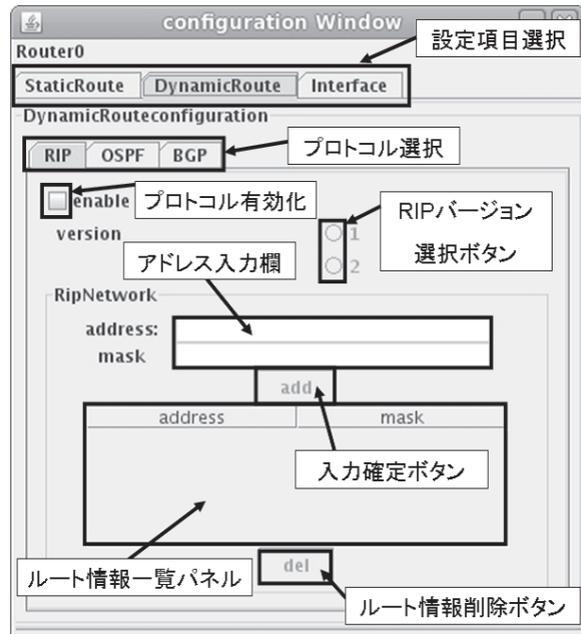


図 5 GUI による操作例
Fig. 5 Operation example on GUI.

NodeName	NodeType	Interface	IPaddress	Mask	Status
Host0	Host	eth0	192.168.10.2	255.255.255.0	up
Host1	Host	eth0	192.168.12.2	255.255.255.0	up
Host2	Host	eth0	192.168.14.2	255.255.255.0	up
Host3	Host	eth0	192.168.16.2	255.255.255.0	up
Router0	Router	eth0	192.168.10.1	255.255.255.0	up
Router0	Router	eth1	192.168.11.1	255.255.255.0	up

図 6 機器情報一覧の例
Fig. 6 Example of device information list.

4.2 通信データの表示

通信データ管理機能の通信データ表示部、ダイアログ表示部、アニメーション表示部は、通信ログファイルの内容を解析することで、様々な形式での表示を可能とする。通信ログ表示部の機能により、通信ログファイルの内容を解析し、パケットのヘッダ情報をプロトコルのフォーマットに合わせて表示することができる。簡易表示、詳細表示、16進数表示の3

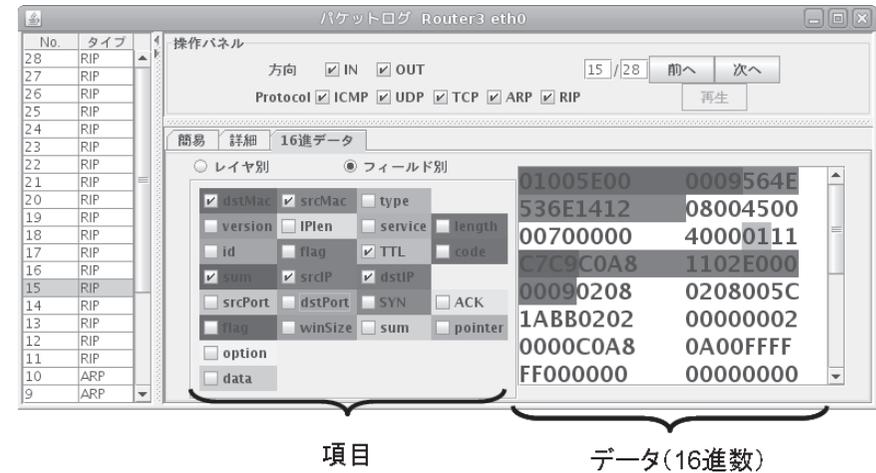


図 7 16進数表示画面の例
Fig. 7 Example of hexadecimal log.

種類の表示が可能である。16進数表示の場合、フィールド別とレイヤ別で色分け表示が可能である。図 7 に 16 進数表示（フィールド別）画面の例を示す。図に示すとおり、16 進数のデータをプロトコルフォーマットに対応させ、チェックしたフィールドだけを色づけして提示する。

ダイアログ表示部の機能により、仮想ネットワーク機器のインタフェースを通過するパケットの情報をダイアログ表示することができる。ダイアログには、宛先 IP アドレス、送信元 IP アドレス、宛先 MAC アドレス、送信元 MAC アドレスが表示される。このダイアログ表示により、機器を通過するごとに宛先情報がどのように変化するかを確認できる。なお、構築支援 GUI は、アニメーションやダイアログの表示によって、ネットワーク図が煩雑になることを考慮して、ダイアログを一括削除するボタンやアニメーションを一時停止する機能を備えている。図 8 にダイアログの例を示す。アニメーション表示部の機能により、パケットが通過した経路をアニメーションとしてネットワーク図上に表示できる。

通信データ管理機能によって、個々の仮想ネットワーク機器のパケットの情報の提示が可能である。さらに、仮想ネットワーク全体の通信を取得するため、通信経路が設定どおりのものかを確認できる。また、本システムは、実際にルーティングソフトウェアが動作しているため、たとえば RIP のアップデート情報が交換されている様子も手軽に観察可能である。

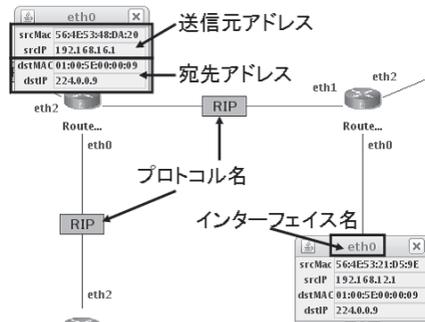


図 8 ダイアログ表示例
Fig. 8 Example of dialogue.

表 1 仮想ネットワーク定義ファイルの項目
Table 1 Items of virtual network definition file.

機器の種類	保存する情報
すべての機器に共通して保存する情報	機器名 ネットワークインタフェース - インタフェース名 - IP アドレス - ネットマスク - デフォルトゲートウェイ - 状態 (有効/無効)
ルータ	パスワード - ユーザモード - 特権モード 静的ルーティングの設定 動的ルーティングの設定 - RIPv1, RIPv2 - OSPFv2, OSPFv3 - BGP4
ホスト	静的ルーティング設定

4.3 仮想ネットワークの XML による定義

定義ファイルは、仮想ネットワークを構成する機器の設定と機器どうしの接続に関する情報を XML によって記述したファイルである。表 1 に定義ファイルに保存する情報の項目を示す。

図 9 に定義ファイルの例を示す。この例は、2つの仮想ネットワークインタフェース (eth0,

```

<vm name="Router0" type="Router">
  <if name="eth0" net="ethline0"></if>
  <if name="eth1" net="ethline1"></if>
  <configuration>
    <interface id="0" type="eth">
      <ip>
        <address>172.17.0.2</address>
        <mask>255.255.0.0</mask>
      </ip>
    </interface>
    <interface id="1" type="eth">
      <ip>
        <address>172.18.0.2</address>
        <mask>255.255.0.0</mask>
      </ip>
    </interface>
    <router type="rip">
      <network>
        <address>172.17.0.0</address>
        <mask>255.255.0.0</mask>
      </network>
      <network>
        <address>172.18.0.0</address>
        <mask>255.255.0.0</mask>
      </network>
    </router>
  </configuration>
</vm>
    
```

① インターフェイス名とソケットファイル名

② IPアドレスとネットマスク

③ RIPの設定

図 9 仮想ネットワーク定義ファイルの例
Fig. 9 Example of virtual network definition file.

eth1) を備えたルータの設定情報を定義ファイルとして記述したものである。①には、仮想ネットワークインタフェースの名前と、その仮想ネットワークインタフェースが接続されている uml_switch のソケットファイルの名前が記述されている。同一のソケットファイルに接続された仮想ネットワークインタフェースどうしが通信可能である。このため、仮想

ネットワークインタフェースごとに接続されているソケットファイルの名前を記述することで、仮想ネットワーク機器どうしの接続を定義できる。②には、それぞれの仮想ネットワークインタフェースに設定された IP アドレスとネットマスクが記述されている。③には、RIP による動的ルーティングの設定が記述されている。

また、本システムでは、定義ファイルを作成する場合の効率を考慮して、図 10 に示す仮想ネットワーク定義ファイル作成支援用 GUI を用意した。本システムの起動時に、定義ファイル作成モードを選択すると、本 GUI から定義ファイルを直接作成することができる。定義ファイル作成モードを使用する場合、仮想マシンは起動しない。図 2 に示す構築支援 GUI のネットワーク図上に仮想ネットワーク機器を配置し、マウス操作によって結線したのち、本 GUI に対して機器ごとに用意した項目に、設定値を入力するだけで定義ファイルが作成できる。本機能は、主に指導者が、模範解答となる定義ファイルや演習課題のテンプレートとなる定義ファイルを作成する場合に使用することを想定している。入力可能な情報は、設定対象の機器によって異なる。仮想ホスト用の GUI では、機器名や仮想インタフェースの IP アドレスなどが設定可能である。

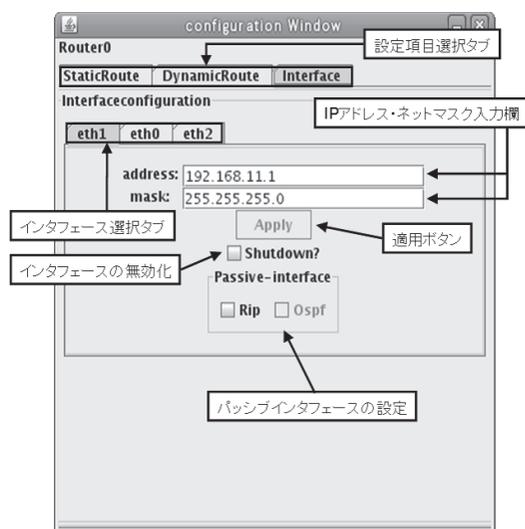


図 10 GUI による定義ファイルの作成
Fig. 10 Making definition file by GUI.

さらに、本システムは、定義ファイルを読み込むことで、仮想ネットワークを自動的に構築することも可能である。定義ファイルは、仮想ネットワーク定義操作部に読み込まれる。仮想ネットワーク定義操作部は、XML タグを解釈し、対応する仮想マシンのコマンドに変換して、仮想マシン管理機能へ渡す。仮想マシン管理機能によって、仮想ネットワーク機器の起動・接続・設定が自動的に実行される。

5. 評価実験とアンケート調査

開発したシステムによって、複数台のルータとホストを用いたネットワークの構築演習が実施できるかを確認するために、各仮想ネットワーク機器の起動時間の計測、および 1 台の PC 上で同時に実行可能な台数を確認した。続いて、実際に演習を実施した場合の本システムの有用性の確認を目的に、2 つの演習課題についてネットワーク構築演習を行った場合の所要時間を計測した。比較のために、同じ演習課題について、実機を用いた場合の所要時間を計測した。最後に、本システムの使用時の使い勝手に関する評価を目的として、アンケート調査を行った。

ネットワークの構築演習とアンケート調査は、本学で開講している CNA 受講者 13 名に対して実施した。受講者は、CNA での実機によるネットワーク構築演習を受講済みまたは受講中である。13 名の内訳は、CNA の受講が修了し CCNA を取得済みの学部 4 年生 4 名と、CNA 受講中で CCNA の受験の準備をしている学部 3 年生 9 名である。

5.1 起動時間と実行可能台数

一般的な性能の PC (CPU : Pentium M 1.5 GHz, メモリ : 512 MB) を用いて、仮想ネットワーク機器の起動時間の計測と、本システム上で実行できる台数を確認した。ホスト Linux を起動した状態にしておき、仮想マシンの起動から仮想マシン設定用コンソール部が表示されるまでの時間を計測した。実験の結果、仮想ルータと仮想ホストは、どちらも 1 台目の起動が 12 秒、2 台目以降の起動は 6 秒であった。それぞれの機器に共通するデータがキャッシングされるため、2 台目以降は高速に起動したと考える。

また、本システム上で実行可能な仮想ネットワーク機器の台数の上限を確認したところ、37 台の仮想ネットワーク機器を実行可能であることが分かった。本学で実施している CNA のうち、主にルーティングに関する演習課題では、最大 8 台のルータとホストを扱う。このことから、本システムは、一般的な性能の PC を使用して、CNA の演習課題の一部を実施するのに十分な能力を有していることが分かった。

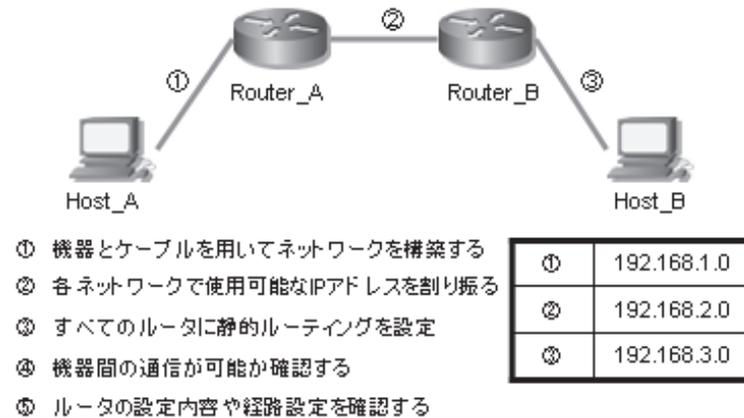


図 11 演習課題 1
 Fig. 11 Practice assignment 1.

5.2 構築演習の所要時間

実際に演習を実施した場合の本システムの有用性の確認を目的として、図 11 と図 12 に示す 2 つの課題について、構築演習を実施したときの所要時間を計測した。課題 1 は、静的ルーティングに関する初歩的な課題であり、必要な機器は PC 2 台とルータ 2 台である。課題 2 は、応用課題であり、RIP による動的ルーティングを設定し、正しくルーティングされることを確認する課題である。必要な機器は、PC 2 台とルータ 5 台である。ホスト Linux を起動した状態にしており、本システムの起動開始から演習終了までの時間を計測した。比較のために、同じ演習課題について、実機 (Cisco1721) を用いた演習を実施した。実機による演習では、演習に必要な機材の設置から片付けまでの時間を計測した。所要時間の平均値と標準偏差を表 2 に示す。

実験結果から、本システムを用いた演習は、実機を用いた場合と比べて、短時間での構築演習が可能であり、本システムが有用であることが分かった。実機の場合、複数の機材の準備、複数の実ケーブルによる結線、ルータと設定用 PC との接続とその切替え作業なども含むため、本システムと比べてより多くの時間が必要であった。一方、本システムによる演習では、学習者は 1 台の PC を用意するだけで演習が可能であり、設定用コンソールを切り替えるだけでネットワーク機器の設定ができるため、効率良い演習が実施できる。

標準偏差の結果から、本システムを用いることで、今回の被験者全員が、限られた演習時

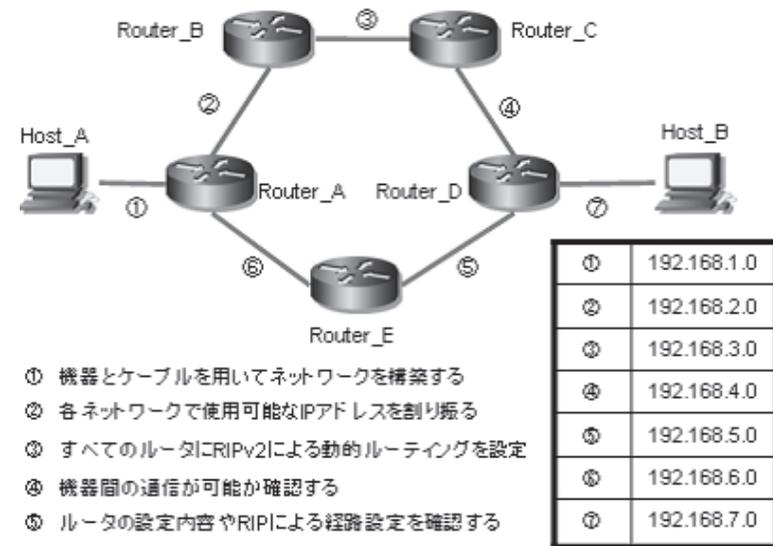


図 12 演習課題 2
 Fig. 12 Practice assignment 2.

表 2 演習の所要時間
 Table 2 Time required for assingment.

項目	平均所要時間	標準偏差
演習課題 1 (本システム)	3 分 24 秒	54 秒
演習課題 1 (実機)	14 分 17 秒	232 秒 (3 分 52 秒)
演習課題 2 (本システム)	16 分 35 秒	273 秒 (4 分 33 秒)
演習課題 2 (実機)	76 分 11 秒	1292 秒 (21 分 32 秒)

間で演習を完了できることが分かった。実機を用いた演習の場合、特に設定する機材の数が増えると、所要時間のばらつきが大きくなる。このため、限られた演習時間内で、課題を完了させられない学習者がいる可能性がある。たとえば、大学の標準的な一時限 (90 分) 以内に、課題 2 を終えられない学習者が発生する。一方、本システムを用いることで、演習時間内に課題が完了でき、さらに複数の課題の実施が可能となる。これにより、学習者は、より多くの演習の機会を得ることができる。また、指導者は円滑な演習授業の進行が可能となる。

また、同じ演習課題を対象に、仮想ネットワーク定義作成支援 GUI を用いて定義ファイルを作成したところ、演習課題 1 では 1 分 33 秒、演習課題 2 では 10 分 50 秒で完了した。次に、作成した定義ファイルを読み込み、仮想ネットワークを自動的に構築する時間を計測した。実験の結果、演習課題 1 では 19 秒、演習課題 2 では 38 秒で仮想ネットワークの構築が完了した。この結果より、本システムは効率的に演習の再開やネットワークの再現が可能であることが分かった。

5.3 アンケート結果

使用時の使い勝手に関する評価を目的として、アンケート調査を行った。本システムの操作性などに関する質問に対し、{ と思う (5 点), どちらかといえばと思う (4 点), どちらともいえない (3 点), あまりそう思わない (2 点), まったくそう思わない (1 点) } の 5 段階評価で答えてもらうアンケートと自由記述形式のアンケートを実施した。アンケートの質問項目と各項目に対する評点を表 3 に示す。

操作に関する項目 ((1)~(4)) は、被験者が実機による演習を経験してきた学生であり、本システムの使用は初めてであった点から考えると、おおむね良好な評価であるといえる。また、学習の効果に関する項目 ((5)~(9)) は、十分であることが分かった。特に通信経路の理解 (評価項目 (6)) に対して高い評価が得られていることから、本システムはルーティングに関する演習に有効であることが分かった。

自由記述形式のアンケートでは、システムの操作性や実装した機能について、

- 実機に近い操作による演習が可能である、
- 予習・復習ができる、
- 繰り返し学習に有効である、

表 3 質問項目と平均点
Table 3 Question items and average scores.

評価項目	平均点	標準偏差
(1) GUI のデザイン (レイアウト、配色など) は適切か	3.4	0.7
(2) 操作方法は簡単に理解できたか	3.2	0.9
(3) システムの操作性は良好だったか	3.6	0.7
(4) 使用できるコマンドは十分だったか	3.8	0.8
(5) CCNA 取得のための学習に役立ったか	4.1	0.9
(6) 通信データの表示は通信経路の理解に役立ったか	4.6	0.5
(7) 通信データの表示によって学習意欲が向上したか	4.3	0.9
(8) 通信データの表示は通信量の理解に役立ったか	4.4	0.5
(9) 通信データの表示はパケットの情報の理解に役立ったか	4.4	0.9

- 自由にネットワークを構築できるのが良い、
 - パケットの内容が変化の様子を確認できる、
 - パケットの経路を視覚的に確認できる、
- などの意見が得られた。

以上より、今回の実験に用いた 2 つの課題に関して、本システムは実機による演習と比べて遜色のない演習が実施できるといえる。しかし、設定用コンソールと設定用 GUI の表示方法について指摘があった。本システムでは、設定用コンソールまたは設定用 GUI を切り替えて、複数の仮想ネットワーク機器の設定を実施する。このとき、設定用コンソールと設定用 GUI 上には、設定中の機器名を表示するが、ネットワーク図には何も表示しない。このため、設定する機器の選択を間違える場合があったという意見が得られた。ネットワーク図上に、設定中の機器を示す方法が必要である。これにより、構築支援 GUI の操作性がより向上する。

6. おわりに

本研究では、ネットワークの構築演習の支援を目的として、1 台の PC 上に仮想的なネットワークを構築するネットワーク構築演習支援システムを開発した。このシステムを仮想 Linux 環境ソフトウェアである UML により実現し、仮想ネットワーク操作機能、仮想マシン管理機能、仮想ネットワーク定義管理機能、通信データ管理機能を実装した。本システムにより、ルータへのルーティングの設定演習が可能である。システムの評価実験を実施した結果、システムの各機能に良好な結果を得た。しかし、構築支援 GUI の操作性についての課題が残されていることが分かった。今後は、構築支援 GUI の操作性を向上させるとともに、ネットワーク回線の帯域幅や遅延などの設定を可能とする機能の実装と IPv6 への対応、および SaaS モデルへの拡張と学習者が構築したネットワークを自動評価する機能の開発を予定している。

謝辞 本研究の遂行にあたり、貴重なご助言をいただきましたシスコシステムズ合同会社 早川浩平氏、(株)サイバーリンクス水間乙允氏に感謝いたします。本システムの実装全般にご協力いただいた上田拓実君 (現 (株)サイバーリンクス)、梅田雅一君 (近畿大学大学院) に感謝いたします。また、本研究の評価にご協力いただいた本学理工学部情報学科シスコネットワーキングアカデミー受講生に感謝します。本研究の一部は電気通信普及財団の研究助成によって実施しました。

参 考 文 献

- 1) 総務省：情報通信白書平成 21 年度版．<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h21.htm>
- 2) Cisco Systems: Cisco Networking Academy. <http://www.cisco.com/web/learning/netacad/>
- 3) Dike, J.: *User Mode Linux*, Pearson Education (2006).
- 4) 早川正昭, 丹野克彦, 山本洋雄, 中山 実, 清水康敬: LAN 構築シミュレータの開発と教育手法の改善, 教育システム情報学会第 26 回全国大会講演論文集, Vol.E5-4, pp.367-368 (2001).
- 5) 宮地利幸, 三輪信介, 知念賢一, 篠田陽一: ネットワーク実験支援ソフトウェアの汎用アーキテクチャの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1695-1709 (2007).
- 6) 浮貝雅裕, 河村俊一, 三井田惇郎: LAN 管理者の実践的教育環境の構築, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.506, pp.79-86 (2001).
- 7) 村尾卓爾, 星川良紀, 山田能文, 渡部英綱, 田中 稔: WindowsNT を用いた学校情報教育用 LAN の構築実験, 教育情報研究, Vol.14, No.4, pp.35-42 (1999).
- 8) 長尾憲暁, 舩曳信生, 中西 透: 仮想 OS を用いたセキュアなプログラミング課題検証支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.336, pp.41-46 (2005).
- 9) Abler, R., Contis, D., Grizzard, J. and Owen, H.: Georgia tech information security center hands-on network security laboratory, *Education, IEEE Transactions*, Vol.49, No.1, pp.82-87 (2006).
- 10) Bruce, K. and Ilona, B.: A Virtual Learning Environment for Real-World networking, *Proc. Informing Science + IT Education Conference 2003* (2003).
- 11) Steve, L., Willis, M. and Wei, Z.: Virtual Networking Lab (VNL): its concepts and implementation, *Proc. 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition* (2001).
- 12) Benjamin, A. and Thomas, E.D.: Xen Worlds: Xen and the Art of Computer Engineering Education, *Proc. 2006 ASEE Annual Conference and Exposition* (2006).
- 13) Galan, F. and Fernandez, D.: Distributed Virtualization Scenarios Using VNUML, *Proc. 1st System and Virtualization Management Workshop (SVM'07)* (2007).
- 14) Galan, F., Fernandez, D., Ruiz, J., Walid, O. and Miguel, T.: Use of Virtualization Tools in Computer Network Laboratories, *Proc. 5th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training*, pp.209-214 (2004).
- 15) Bullers Jr., W.I., Burd, S. and Seazzu, A.F.: Virtual machines – an idea whose time has returned: application to network, security, and database courses, *SIGCSE Bull.*, Vol.38, No.1, pp.102-106 (2006).
- 16) Kyrre, M.B.: Managing Large Networks of Virtual Machines, *Proc. 20th Conference on Large Installation System Administration Conference*, pp.205-214 (2006).
- 17) Hu, J., Cordel, D. and Meinel, C.: A Virtual Laboratory for IT Security Education, *EMISA*, pp.60-71 (2004).
- 18) 荒井正之, 田村尚也, 渡辺博芳, 小木曾千秋, 武井恵雄: TCP/IP プロトコル学習ツールの開発と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.3242-3251 (2003).
- 19) 中川泰宏, 須田宇宙, 三井田惇郎, 浮貝雅裕: VMware を利用した学習用 LAN 構築支援システムの開発, 教育システム情報学会誌, Vol.24, No.2, pp.126-136 (2007).
- 20) 立岩佑一郎, 安田孝美, 横井茂樹: 仮想環境ソフトウェアに基づく LAN 構築技能と TCP/IP 理論の関連付けのためのネットワーク動作可視化システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1684-1694 (2007).
- 21) The Network Simulator: ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 22) Paul, B., Boris, D., F., K., Steven, H., Tim, H., Alex, H., Rolf, N., Ian, P. and Andrew, W.: Xen and the art of virtualization, *SOSP '03: Proc. 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles*, pp.164-177 (2003).
- 23) VMware: <http://www.vmware.com/jp/>
- 24) Quagga Routing Software Suite. <http://www.quagga.net/>

(平成 22 年 3 月 3 日受付)

(平成 22 年 12 月 1 日採録)



井口 信和 (正会員)

1988 年三重大学大学院修士課程修了。同年 (株) 豊田自動織機製作所入社。1992 年和歌山県工業技術センター研究員。2001 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了, 博士 (工学)。2002 年近畿大学理工学部情報学科助教授。2008 年同大学教授となり, 現在に至る。これまでに動画像通信を用いた遠隔技術診断, グループウェアの研究に従事。仮想化技術と P2P 技術を応用したシステム開発, 農業 ICT の研究に興味を持つ。電子情報通信学会, 農業情報学会, 教育システム情報学会, IEEE 各会員。