

SaaS 型提供モデルに基づく仮想 Linux 環境を用いたネットワーク構築演習システムの開発

代表研究者 井口信和 近畿大学理工学部情報学科

1 はじめに

社会の隅々にまでインターネットが浸透し、わが国におけるインターネットの人口普及率は 75%を越える と推定されている。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。ネットワーク学習は書籍や資料による基礎知識の習得、さらに、習得した知識をもとに実習を繰り返すことで、実践経験を積み重ねることが重要である。シスコネットワークアカデミー（以下、CNA）においても、Web 教材と実機を用いたネットワーク学習方法が取り入れられており、世界的に広く普及している 1)。

実機による演習は、ネットワークの構築経験による実践的な知識が身につくため学習効果が高い。しかし、複数のネットワーク機器を用意しなければ演習できないため、学習者が繰り返し演習できる環境を手軽に整えることは困難である。また、課題として構築するネットワークの規模に比例して、機器の確保や設定場所の手配など、教員の負担も増える。

トラブルシューティングは、技術者が通信の障害箇所の特定、修復などネットワークトラブルを早期に解決する能力を養う上で重要な学習である。しかし、ネットワークの障害として考えられる要因は多種多様であり、その全ての事例を実機によって再現することは困難である。

書籍や Web 資料による学習では、通信プロトコルの仕様や通信の処理手順に関する知識について学ぶ。しかし、実機の操作を伴わない学習であることや、例として用いられるネットワークの構成が固定であることから、学習内容がパターン化し実践的なスキルを習得できないといった問題がある。

そこで、これまでに仮想 Linux 環境をネットワーク機器として動作させ、1 台の PC 上で動作する仮想的なネットワークを構築することで、ネットワークの構築手順や通信の処理手順について演習するシステム(以下、e-Netlab)を開発してきた 2)。

e-Netlab は、仮想 Linux 環境を用いることで、ネットワーク構築の演習環境を学習者に提供する。実機による演習では、機器が故障した場合の復旧作業が指導者にとって作業負担となるが、仮想環境の利用により指導者の負担の軽減が可能となった。しかし、e-Netlab を利用するために必要となる、仮想ネットワークの構築環境の導入作業が、学習者の負担となっていた。

そこで、本研究では、e-Netlab を SaaS(Software as a Service)モデルに基づいて開発した。SaaS 型 e-Netlab では、仮想ネットワークの構築に必要なソフトウェアをサーバで動作させる。学習者はサーバで動作する仮想ネットワークの構築環境を、実ネットワークを介して利用する。本システムにより、学習者は使用する PC に Java の実行環境を導入するだけで、演習を繰り返すことが可能となった。さらに学習者が構築したネットワークの設定を自動的に判定する機能を開発した。これによって、指導者の判定作業が大幅に軽減される。さらに学習者は、自身の構築したネットワークの設定が正しいかを自分で判断することが可能となる。

2 関連研究

仮想化技術を用いた学習環境やソフトウェアのテスト環境の構築を目的とした研究が行われている 3)–9)。本研究に関連する研究として、立岩らの開発したシステムがある 10)。本システムと同様に、UML を利用したネットワーク学習のためのシステムであり、Web サーバの構築とそのトラブルシューティングを学習の対象としている。これに対して本システムは、ルータやスイッチなどネットワークの構成に深く関係する機器を学習の対象とする。荒井らは、実ネットワークの通信データを取得し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 11)。しかし、学習者が使用している PC が送受信したデータを取得し可視化するツールであるため、ルータやスイッチなどネットワーク

を構成する機器が送受信したデータを学習者に提示できない。また、ツールの性質上、ネットワークの構成を学習者が任意に変更できない。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 12)。しかし、システムを利用するために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。

3 開発した機能の詳細

3-1 システムの概要

本システムは、仮想 Linux 環境である User Mode Linux(以下、UML)をネットワーク機器として利用したネットワーク構築演習システムである。学習者は仮想ネットワーク機器で構成されるネットワークを設計・構築することで、実践経験に基づくネットワークの知識を習得する。演習はサーバで動作する仮想ネットワークの構築環境を、実ネットワークを介して利用することで実施する。図 1 にシステムのモデルを示す。本システムでは、2 つの形態の構築演習を可能とする。一つ目は、各学習者が個別のネットワークを構築する演習を行う演習形態である。二つ目は、一つのネットワークを複数の学習者が協同で構築する演習形態である。いずれも形態において、複数のネットワークとそこで利用する仮想ネットワーク機器の管理する仕組みが必要となる。

本システムで利用可能な仮想ネットワーク機器は、ルータとレイヤ 2 スイッチおよびクライアントやサーバとなるホストである。仮想ルータでは、静的ルーティングと RIP, OSPF, BGP4 による動的ルーティングの設定が可能である。また仮想スイッチでは、VLAN(Virtual LAN)と STP(Spanning Tree Protocol)の設定が可能である。本システムの機能は、仮想ネットワーク構築支援 GUI と仮想ネットワーク構築機能、および通信可視化機能から構成される。以下では、各機能について説明する。

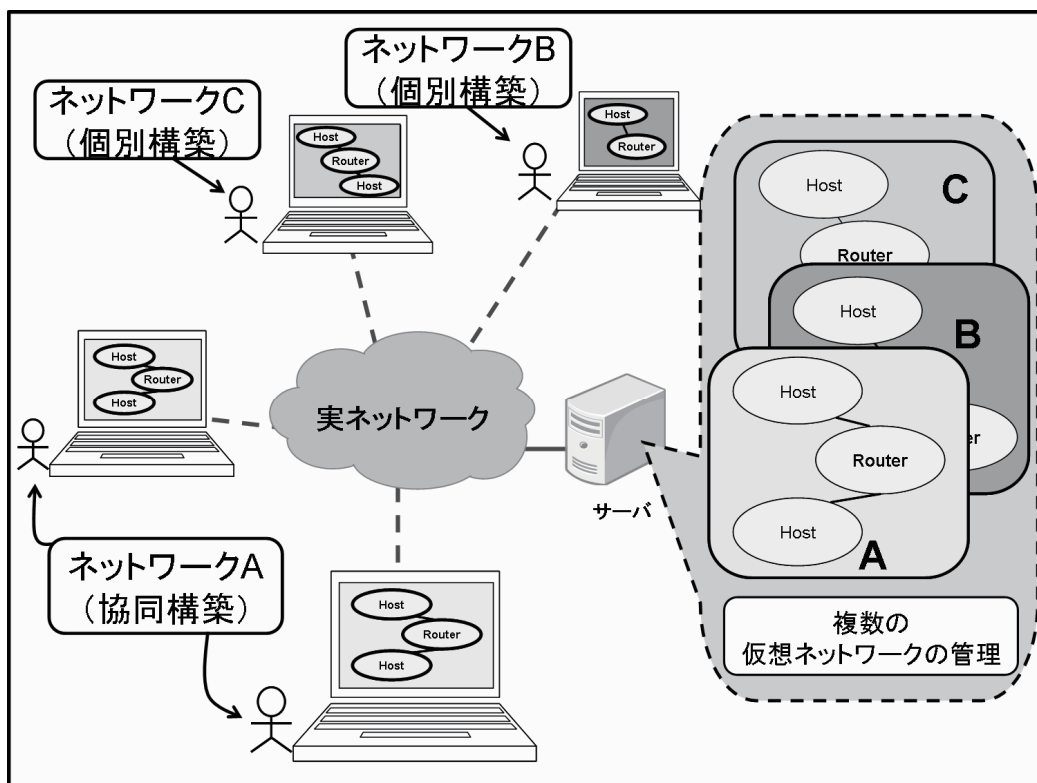


図 1 本システムのモデル

3-2 仮想ネットワーク構築支援 GUI

本システムでは、UML を複数起動し、相互に通信させることで、1 台の PC 上に仮想的なネットワークを構築する。しかし、UML はコンソールアプリケーションであり、UML の起動、設定、確認などの作業はコマンド入力によって行う。このため、ネットワークを構成する各 UML のコンソールから通信の設定を確認できても、ネットワークのトポロジを視覚的に把握できない。そこで、直感的な操作による仮想ネットワークの構

築を支援する仮想ネットワーク構築支援 GUI を開発した。本 GUI を用いることで、サーバで動作する仮想ネットワークのトポロジや機器の設定情報を視覚的に確認できる。図 2 に仮想ネットワーク構築支援 GUI を示す。

仮想ネットワーク構築支援 GUI を操作することで、サーバ上に仮想ネットワークが構築される。機器追加ボタンをクリック、または、ネットワーク図にドラッグアンドドロップすることで、仮想ネットワーク機器が仮想ネットワークに追加される。ネットワーク図は、ネットワーク機器を表すアイコン画像と接続を表す直線で描画される。アイコン画像をマウス操作により接続することで、ネットワーク機器同士が通信可能となる。接続を表す直線には、インタフェース名を示す文字ラベルが自動的に表示される。図 3 に機器同士の接続表示例を示す。コンソールへ設定用のコマンドを入力することで、機器の情報を確認、または設定できる。各機器のネットワークに関する設定は、機器情報一覧により確認できる。機器の名前や機器の種類に加えて、IP アドレスやネットマスクなどネットワーク構築に関わる基本的な情報が表示される。

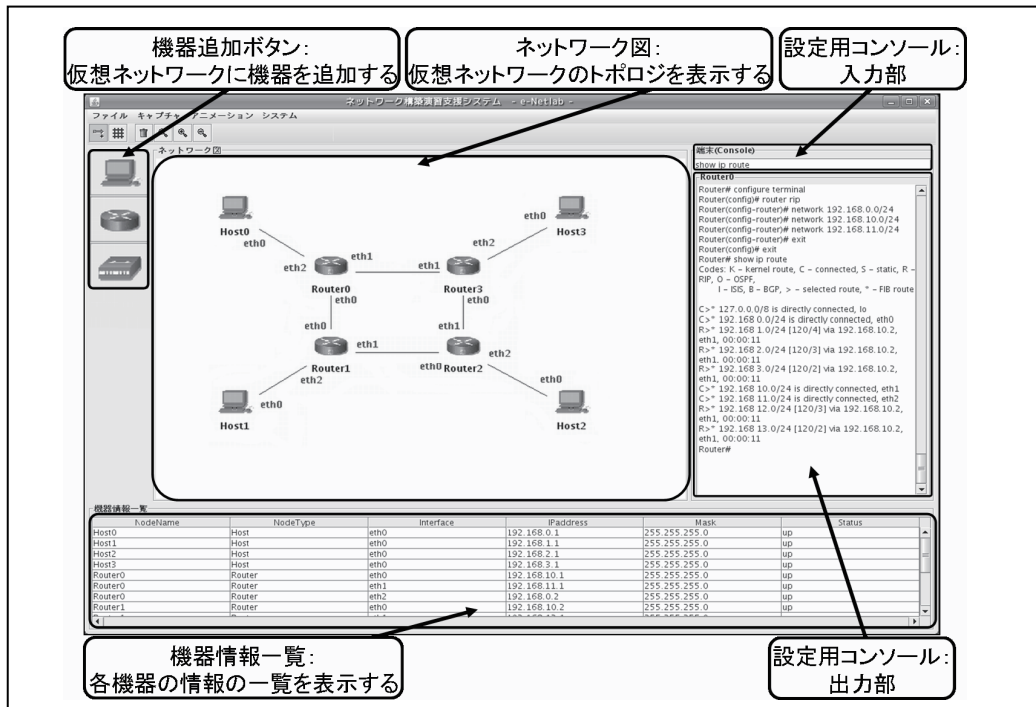


図 2 仮想ネットワーク構築支援 GUI

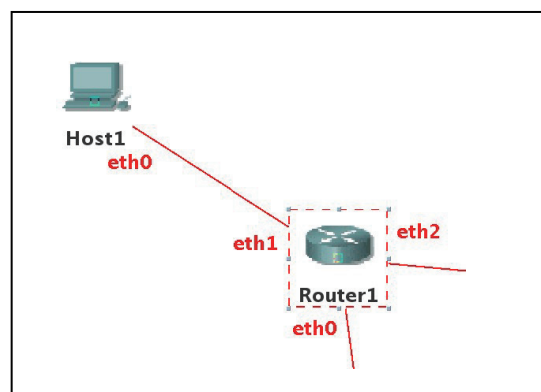


図 3 機器同士の接続表示例

3-3 仮想ネットワーク構築機能

仮想ネットワーク構築機能は、クライアントからの要求により UML による仮想ネットワークを構築する機能である。仮想ネットワーク構築機能は、サーバで動作する。

仮想ネットワークの構築は、仮想ネットワーク構築支援 GUI による操作のほか、ネットワークの情報を記述したファイル(以下、ネットワーク定義ファイル)を用いることでも可能である。ネットワーク定義ファイルは、構築した仮想ネットワークから作成する。ネットワーク定義ファイルには、仮想ネットワークを構成するトポロジや機器の設定値が保存される。定義ファイルを利用することで、学習の一時中断が可能である。また、大規模なネットワークを再現する際に定義ファイルによる自動構築を利用することで、作業負担を軽減できる。図4にネットワーク定義ファイルの例を示す。

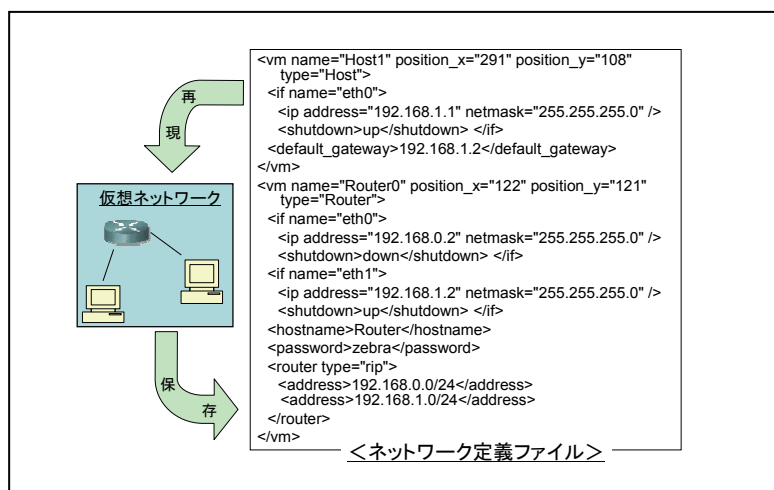


図4 ネットワーク定義ファイルの例

3-4 通信可視化機能

通信可視化機能を利用することで、通信のログ表示とアニメーション表示が可能である。通信ログ表示機能は、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通信プロトコルの仕様に合わせて表示する機能である。この機能により、学習者自身が構築したネットワークの通信情報を用いて、書籍や資料によって得られた通信プロトコルに関する知識の確認が可能となる。

ログ表示機能は簡易表示画面、詳細表示画面、16進数表示画面を実装した。簡易表示画面では、宛先 IP アドレスや使われているプロトコルなど基本的な情報を確認できる。詳細表示画面では、パケットの全ての情報でできる。16進数表示画面では、パケットのヘッダ情報を16進数で表示し項目ごとに色分けすることで、プロトコルによって定められたデータ構造と合わせて確認できる。また、それぞれのログ表示画面において、プロトコルやレイヤ、入出力の方向でフィルタリングしてログ表示できる。図5にパケットログの表示例を示す。

アニメーション機能は、通信ログファイルからパケットの一連の流れを生成し、ネットワーク図上にアニメーションを表示する機能である。パケットを表すアイコン画像がネットワーク図上を移動することで、パケットの通信経路を視覚的に確認できる。また、各ネットワーク機器を通過する際に、パケットのヘッダ情報をダイアログ表示する機能も備えている。この機能により、ルータやスイッチのルーティングの設定変更による通信経路の変化を確認できる。

また、各ネットワーク機器を通過する際に、パケットの情報をダイアログ表示する機能も備えている。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。図6に、通信のアニメーション機能とダイアログ機能の例を示す。



図5 パケットログの表示

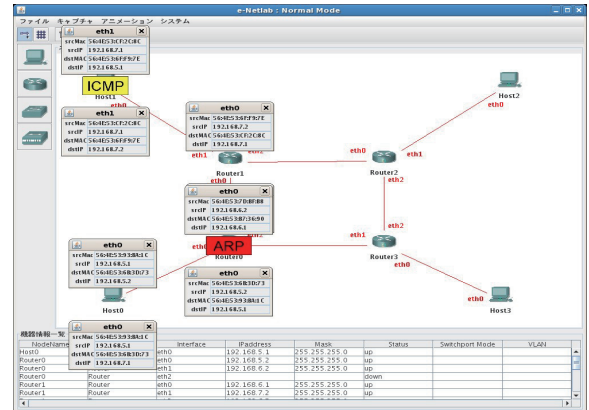


図6 アニメーション機能とダイアログ表示

4 自動採点機能

4-1 機能の概要

本機能は、演習用のネットワーク環境を自動的に構築し、実施した演習内容を採点する機能である。ネットワークの設定演習を中心とした学習を行う場合、実機による演習では、演習の度に機器の起動や配線作業を繰り返す必要がある。また、トラブルシューティング演習を行う場合においても、障害を含むネットワークの準備する作業が、教員にとって負担となる場合がある。

本機能では、テンプレートの読み込みによって、自動的に演習用の仮想ネットワークを構築できる。実施する演習課題を選択すると、仮想機器の起動と機器間の接続処理が実行され、演習用の仮想ネットワークを自動的に構築する。仮想ネットワーク上に設定を施し、採点機能を実行すると、採点結果表示用のGUI(以下、採点結果表示GUI)により採点結果を確認できる。

演習課題は、課題選択用のGUI(以下、課題選択用GUI)より選択できる。課題選択用GUIを図7に示す。課題選択用GUIを操作し、実施する演習課題を決定すると、演習用の仮想ネットワークが構築される。演習の結果は、採点結果表示用のGUI(以下、採点結果表示GUI)に表示される。図8に採点結果表示GUIを示す。表1に作成した演習課題の一覧を示す。図9および図10に演習例を示す。

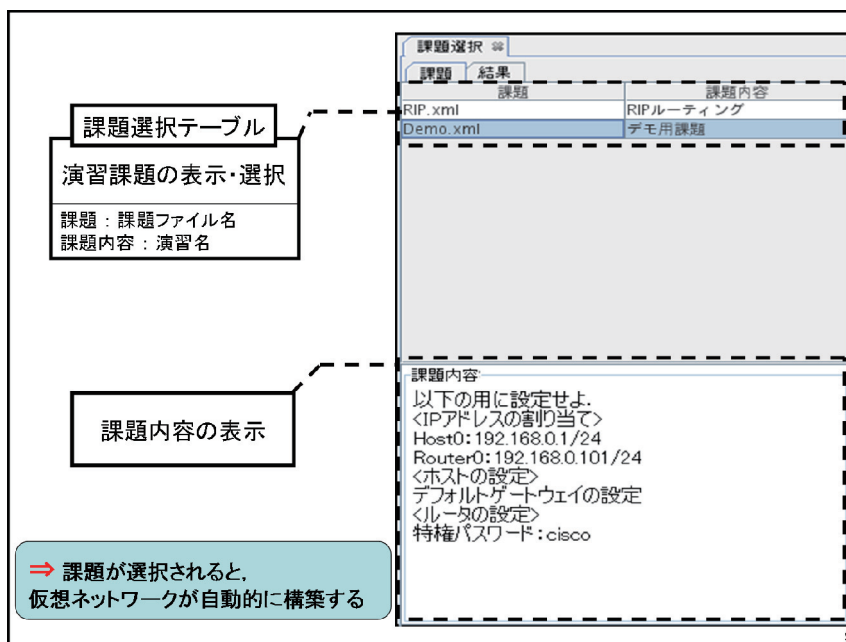


図7 課題選択用GUI

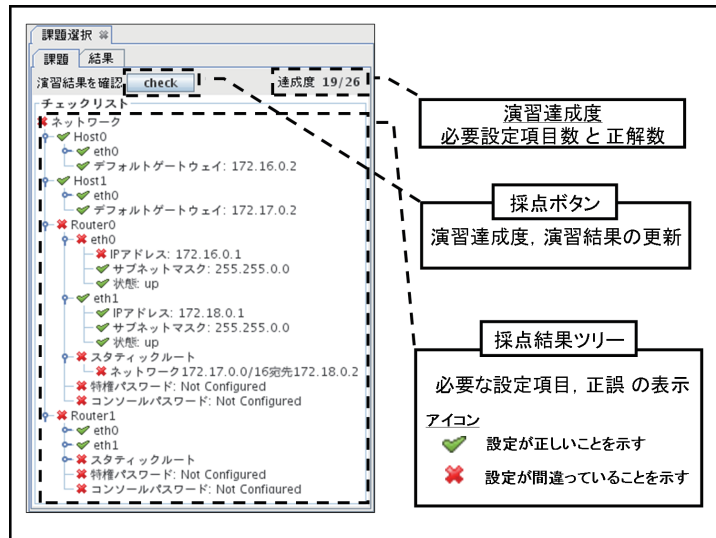


図 8 採点結果表示用 GUI

表 1 作成した演習課題のリスト

設定課題	演習形態	演習内容
ルータの基本設定	-	ホスト名、パスワード、パスワード暗号化、ログ出力、パケット転送に関する設定
ルータのインタフェース設定	-	インタフェースのIPアドレス・状態・帯域幅、説明文(description)の設定の設定
ホストの基本設定	-	IPアドレス、デフォルトゲートウェイの設定
IPアドレスの設定と通信確認	ホスト1台 × ルータ1台	ホスト(IPアドレス)とルータ(IPアドレス)の設定と通信確認
IPアドレスの設定と通信確認	ホスト2台 × ルータ1台	ホスト(IPアドレス・デフォルトゲートウェイ)とルータ(IPアドレス)の設定と通信確認
静的ルーティング設定	ホスト2台 × ルータ2台	静的ルーティングによるルーティング設定
RIPv1によるネットワーク設定	ホスト2台 × ルータ2台	RIPv1によるルーティング設定
RIPv2によるネットワーク設定1	ホスト2台 × ルータ2台	RIPv2によるルーティング設定
RIPv2によるネットワーク設定2	ホスト4台 × ルータ4台	RIPv2によるルーティング設定
RIPv2のディスタンス値の設定	ホスト4台 × ルータ4台	RIPv2のディスタンス値の設定
RIPv2と静的ルートの設定とディスタンス値の設定	ホスト4台 × ルータ4台	RIPv2・静的ルーティングの設定とディスタンス値による経路決定手順の確認
RIPv2によるデフォルトルート伝播設定	ホスト2台 × ルータ2台	RIPv2によるデフォルトルート伝播の設定とルート伝播の確認
OSPFによるネットワーク設定1	ホスト2台 × ルータ2台	OSPFによるルーティング設定
OSPFによるネットワーク設定2	ホスト4台 × ルータ4台	OSPFによるルーティング設定
OSPFによるデフォルトルート伝播設定	ホスト2台 × ルータ2台	OSPFによるデフォルトルート伝播の設定とルート伝播の確認
OSPFのディスタンス値の設定	ホスト4台 × ルータ4台	OSPFのディスタンス値の設定
OSPFとRIPv2の設定とディスタンス値の設定	ホスト4台 × ルータ4台	RIPv2・OSPFのルーティング設定とディスタンス値による経路決定手順の確認
OSPFのルーチIDの設定	ホスト2台 × ルータ2台	OSPFのルーチIDの設定
インタフェースのOSPFコストの設定	ホスト2台 × ルータ2台	インタフェースのOSPFコストの設定とOSPFルートの経路変化の確認
インタフェースのOSPFプライオリティの設定	ホスト4台 × ルータ4台	インタフェースのOSPFプライオリティの設定とOSPF代表ルータの確認

演習課題例1

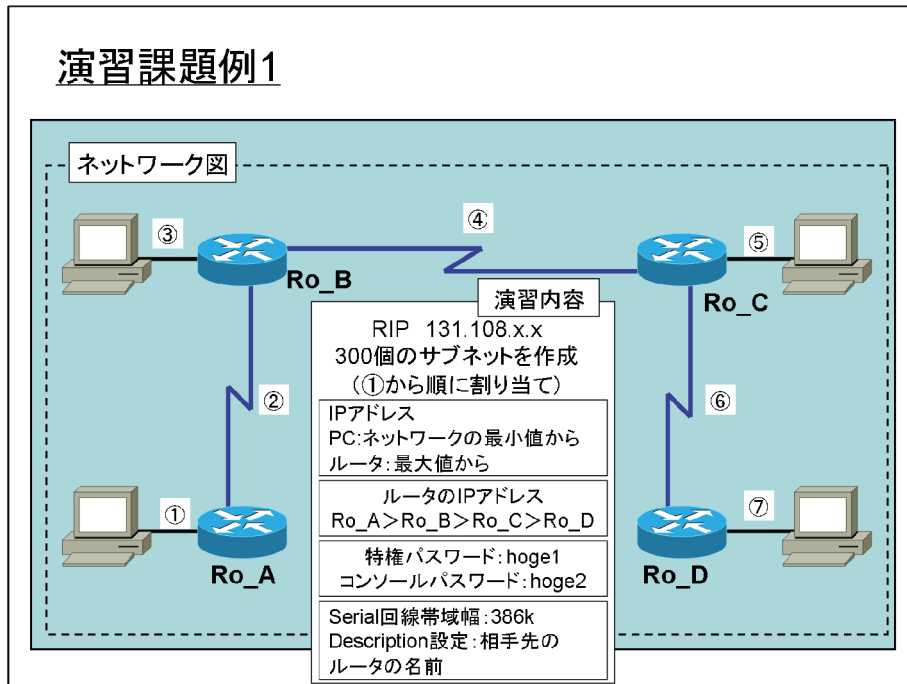


図9 演習課題例1

演習課題例2

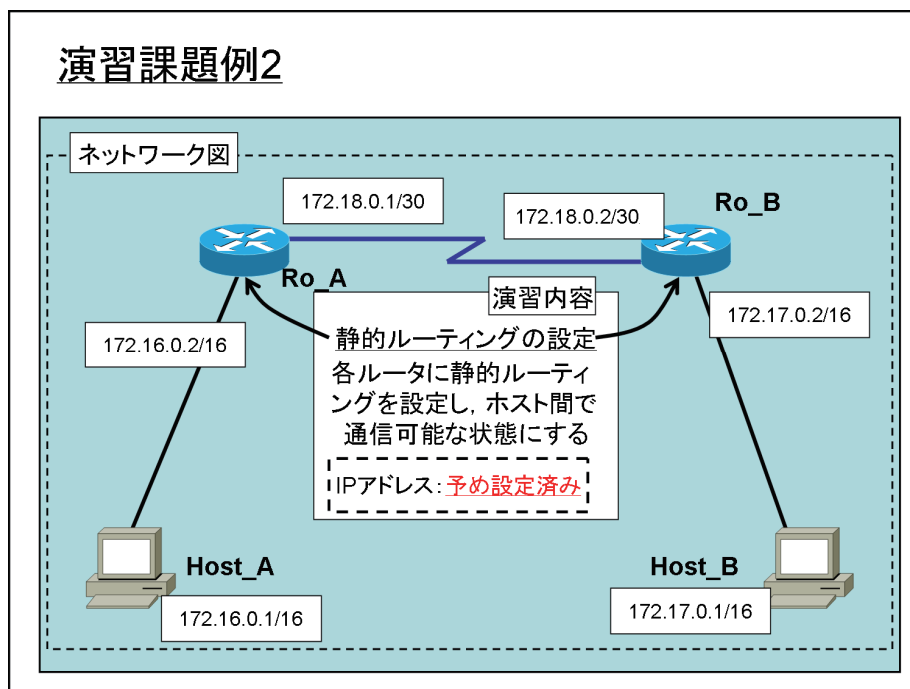


図10 演習課題例2

4-2 演習課題ファイル

演習課題は、演習用のデータが記述されたファイル(以下、演習課題ファイル)を読み込むことで生成する。演習課題ファイルは、XML 言語で記述されており、演習の開始時に構築するネットワークの情報と、模範解答となる機器の設定情報が含まれる。XML 言語を採用することによるメリットを以下に示す。

- ・情報の階層管理

XML では、各データ要素を階層的に管理できる。機器の設定情報に階層構造を持たせることで、学習者が実施した機器の設定と、模範解答用の設定情報を容易に比較できる。さらに、テキスト形式である為、データの意味を目で見て判断しやすいため、可読性を高めることができる。

• Java との親和性

Java では、XML データファイルを読み込み、インスタンスを生成できるクラスが備わっている。そのため、ファイルの解析処理を新たに実装する必要が無く、データの属性と要素を定義するだけでファイルの解析・生成が可能である

4-3 演習課題ファイルの作成法

演習課題ファイルを作成する場合の効率を考慮し、「演習課題ファイル作成支援GUI」を実装した。本GUI を操作し、機器ごとに用意した項目に設定値を入力するだけで演習課題ファイルを作成できる。入力可能な情報は、設定対象の機器ごとに異なる。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。仮想ルータ用の GUI では、ホスト名やパスワード、インタフェースの IP アドレスなど基本的な設定に加え、静的・動的ルーティングなど経路制御に関する設定が可能である。演習課題ファイルは、演習課題ファイル作成用の GUI を操作することで作成できる。作成した演習課題ファイルは、学習者がサーバに接続すると自動的に読み込まれ、学習者が操作する課題選択用の GUI より選択できる状態になる。図 11 に演習仮想ネットワーク構築 GUI を示し、図 12 にホスト用の正答情報設定 GUI を示す。また、図 13 にルータ用の正答情報設定 GUI を示す。

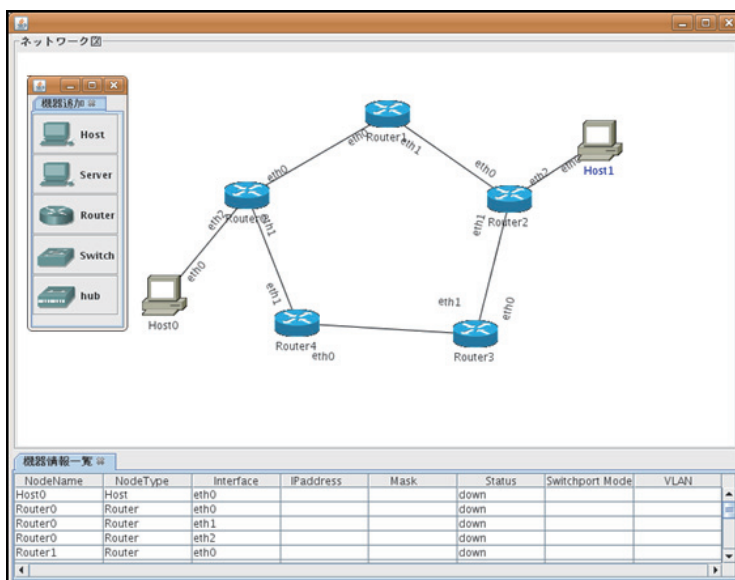


図 11 演習用仮想ネットワーク設定 GUI

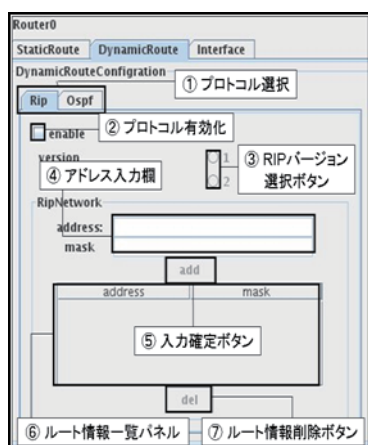


図 12 ホスト用正答情報設定 GUI



図 13 ルータ用正答情報設定 GUI

5 評価実験

5-1 実験方法

本システムによるネットワーク構築演習と、実機によるネットワーク構築演習とを比較するため、本学情報学科の学部生 18 名と院生 5 名を被験者として評価実験を実施した。また、受講生のうち 13 名は本学科で開催している CNA を通し、CCNA を取得している。

実験には、CNA で出題される課題を使用した。課題 1 は、初歩的な課題であり、必要な機器は PC2 台とルータ 2 台である。課題 2 は、応用課題であり、多数のルータで構成されるネットワークに 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、PC2 台とルータ 5 台である。課題 1 と課題 2 を図 14 と図 15 に示す。二つの課題について本システムと実機ルータ (CISCO 1721) を使った構築演習を行い、本システムの操作性や実機による演習との相違点に関するアンケート調査を実施した。

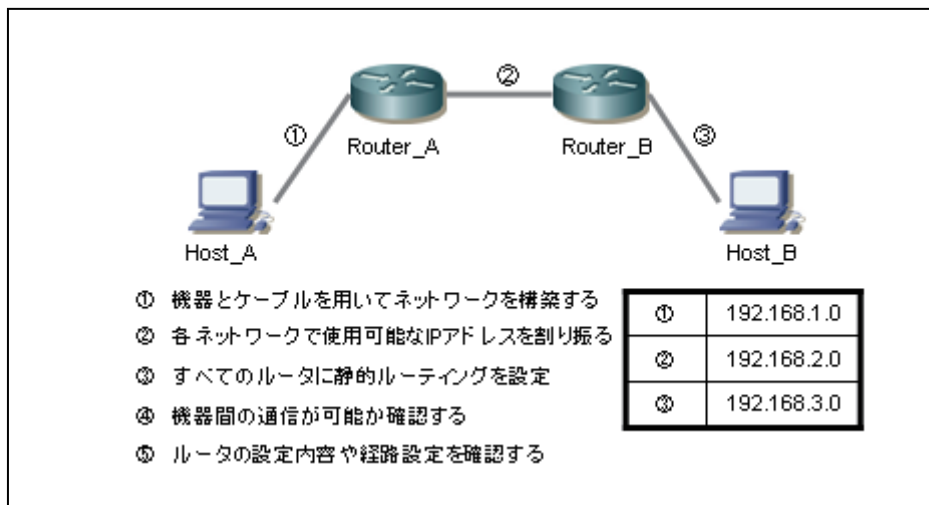


図 13 課題 1

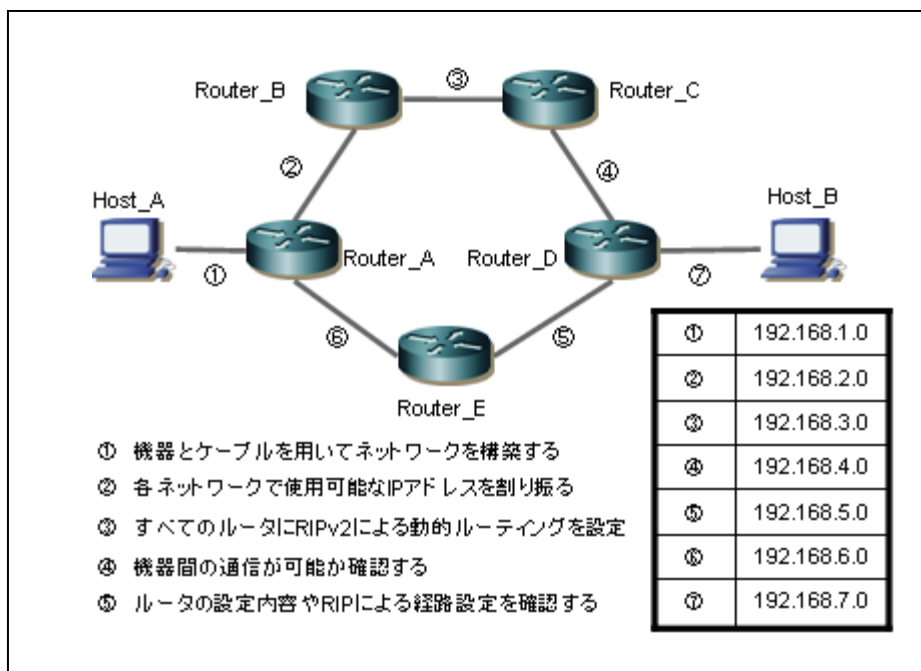


図 14 課題 2

5-1 実験結果

本システムの操作性や実機によるネットワーク構築演習との相違点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2に示す。

表2 質問項目と平均点

質問項目	平均	標準偏差
ネットワーク構築の演習環境に本システムを利用できると思うか	4.50	0.67
本システムによりネットワークスキルを身につけることができると思うか	4.00	0.47
CCNA(Cisco技術者認定)取得のための学習に役立つか(保持者のみ)	4.33	0.41
自動採点機能によって効率良く演習を進めることができたか	3.75	1.03
採点結果ツリーによってわかりやすく設定の正誤を確認できたか	3.88	0.74
本システムの演習を繰り返すことで、設定手順を学習できるか	3.88	0.74
仮想ネットワークの操作(レイアウトの変更・設定)は容易にできたか	4.38	0.66

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。
- ・自由にネットワークを構築できるのが良い。
- ・採点機能により効率的に演習を進めることができる。
- ・採点結果により学習意欲が向上する。

などの意見が得られたため、システムの各機能は目的通りに動作しているといえる。しかし一部の被験者から、自動採点によって確認できる情報は設定内容の正誤だけであるため正しい設定手順がわからない場合、教材や資料を再確認するための作業に演習が中断されるといった意見が得られた。この問題を解決するため、ネットワークの仕様と併せて機器の設定手順を示すガイダンス機能の実装が必要である。

6 まとめ

本研究では、ネットワークシステム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システムを構築するネットワーク構築演習システムをクライアントサーバモデルに基づき開発した。仮想Linux環境ソフトウェアであるUMLの仮想マシンを仮想的なネットワーク機器として利用し、さらに、UMLによる仮想ネットワークの構築環境を全てサーバ上で動作させることで、学習者はJavaの実行環境を導入するだけで、本システムによる演習を繰り返すことが可能となった。さらに学習者の構築したネットワークの設定を自動的に判定する機能を開発した。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ついて良好な結果を得た。

今後の課題として、自動採点機能を拡張したガイダンス機能、サーバの負荷分散機能の実装が挙げられる。これにより、より多くの学習者の利用に対応できるとともに、より規模の大きなネットワーク演習が可能となる。また、現在のシステムでは学習者の演習結果を利用した機能が備わっていない。今後は、学習者の演習結果を利用した成績管理やフィードバック作成機能など、教員向けの機能の実装を検討している。

【参考文献】

- 1) Cisco Systems: Cisco Networking Academy, <http://www.cisco.com/web/learning/netacad>.
- 2) 井口信和: 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, pp.1412-1423 (2011).
- 3) 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).

- 4) 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).
- 5) Abler, R., Contis, D., Grizzard, J. and Owen, H.: Georgia tech information security center/handson network security laboratory, *Education, IEEE Transactions*, Vol. 49, No. 1, pp. 82–87 (2006).
- 6) Bruce, K. and Ilona, B.: A Virtual Learning Environment for Real-World networking, *Proceeding of Informing Science + IT Education Conference 2003* (2003).
- 7) Steve, L., Willis, M. and Wei, Z.: Virtual Net-working Lab (VNL): its concepts and implementation, *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition* (2001).
- 8) Fermin, G. and David, F.: Distributed Virtualization Scenarios Using VNUML, *Proceedings of the First System and Virtualization Management Workshop (SVM ' 07)* (2007).
- 9) Benjamin, A. and Thomas, E.D.: Xen Worlds: Xen and the Art of Computer Engineering Education, *Proceedings of 2006 ASEE Annual Conference and Exposition* (2006).
- 10) 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).
- 11) 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).
- 12) 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).

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
仮想 Linux 環境を活用した SaaS 型ネットワーク構築演習システムの開発	DICOM02009 シンポジウム	2009 年 7 月
仮想 Linux 環境を活用したネットワーク構築演習システムへの自動採点機能の実装	情報処理学会第 72 回全国大会	2010 年 3 月
仮想 Linux を活用したネットワーク構築演習のための自動評価システムの開発	DICOM02010 シンポジウム	2010 年 7 月
仮想 Linux 環境を活用したネットワーク構築演習システムと実ネットワークとの通信を可能とするゲートウェイ機能の開発	DICOM02010 シンポジウム	2010 年 7 月
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	情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, 1412–1423 (2011)	2011 年 3 月