

ネットワークセキュリティ演習のための直感的でシームレスな操作性と 軽快な応答性を目指したウェブ型演習システムの評価

立岩佑一郎[†]

[†] 名古屋工業大学 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

E-mail: †tateiwa@nitech.ac.jp

あらまし 筆者の担当するネットワークセキュリティ演習では、受講者は仮想マシン User-mode Linux (UML) を機器としたネットワークを構築し、そのネットワークにて攻撃や防衛のツールを実行する。従来の演習システムでは、受講者は windows アプリケーションにより UML を稼働させる遠隔サーバのデスクトップ画面にアクセスし、コマンド実行により UML を設定することでネットワークを構築していた。しかしながら、コロナウィルス感染対策などから自宅での演習を考えた場合、特定の OS に依存したアプリケーション、細いネットワーク回線、および UML の設定ミスへのサポートの難しさなどから、受講者が効率的に演習を行えないことが予想される。本稿では、直感的でシームレスな操作性と軽快な応答性を目指したウェブ型演習システムを提案する。この演習システムは、機器の配置やケーブルの接続などをマウス操作で直感的に編集できるウェブページ、UML のターミナルに接続されたウェブページ、UML で実行された X クライアントを操作できるウェブページを提供する。評価実験において、被験者からは操作性について好意的な評価を受け、応答性への問題点は指摘されなかった。端末におけるコマンド入力に対する応答時間やトラフィックは従来システムより非常に小さかった。

キーワード ネットワークセキュリティ, 演習環境, 仮想マシン

Evaluation of Web-Based Hands-on System for Network Security Classes with Intuitive and Seamless Operability and Light-Weight Responsiveness

Yuichiro TATEIWA[†]

[†] Nagoya Institute of Technology Gokiso-cho, Nagoya-shi, Aichi-ken 466-8555 Japan

E-mail: †tateiwa@nitech.ac.jp

Abstract We consider network security exercises where students construct virtual networks with User-mode Linux (UML) virtual machines and then execute attack and defense activities on these networks. In an older version of the exercise system, the students accessed the desktop screens of the remote servers running UMLs with Windows applications and then built networks by executing UML commands. However, performing the exercises remotely (e.g., due to the COVID-19 pandemic) resulted in difficulties due to factors such as the dependency of the work environment on specific operating systems, narrow-band networks, as well as issues in providing support for configuring UMLs. In this paper, a novel web-based hands-on system with intuitive and seamless operability and lightweight responsiveness is proposed in order to allow performing the considered exercises while avoiding the mentioned shortcomings. The system provides web pages for editing device layouts and cable connections by mouse operations intuitively, web pages connecting to UML terminals, and web pages for operating X clients running on UMLs. We carried out experiments for evaluating the proposed system on the usability and system performance. The subjects offered positive assessments on the operability and no negative assessments on the responsiveness. As for command inputs in terminals, the response time is shorter and the traffic is much smaller than the older system.

Key words network security, e-learning, virtual machine

1. はじめに

User-mode Linux [1] (以降, UML と呼ぶ) は Linux 上で動作するプロセスであり, Linux 計算機を仮想的に実現する. また, UML の付属ツールである `uml_switch` はスイッチングハブのように動作する. `uml_switch` に UML のネットワークインタフェースを接続することで, 仮想的なネットワーク (以降, 仮想 NW と呼ぶ) をそのホスト計算機上に実現できる.

これまで, 筆者の担当するネットワークセキュリティ演習では, 受講者は演習室の Windows 端末にて vSphere Client [2] を起動し, それを通じて遠隔サーバ上で稼働する Debian Linux 3.1 のデスクトップ画面を操作した. 図 1 は, クライアントとサーバをスイッチングハブで接続した仮想 NW である. クライアントやサーバのウィンドウは, 各々のターミナルとして動作している. これらの仮想機器の生成や仮想機器間の接続は Debian Linux のターミナルにて UML のコマンドを実行することで実現される. 受講者は, 機器の配置・撤去, 機器間の接続・切断, および機器での操作 (例えば, 攻撃や防衛ツールの実行) により, 脆弱性のあるネットワークにて攻撃を成功させたり, そのネットワークを防衛できるように変更したりする.

しかし, この演習環境には以下のような問題点がある.

(1) コロナウイルス感染対策のため受講者を自宅で演習させたいが, 以下の原因により受講者が自宅に演習環境を構築するのが難しい.

- OS やスペックにばらつきのある PC やタブレットのため, windows アプリケーションである vSphereClient が動作しないものがある.

- 回線品質にばらつきのあるネットワーク環境のため, 画面転送によるデスクトップ画面の操作では快適に作業できないことがある.

- 受講者とのやりとりが電話やメールとなるため, 教師や TA が演習環境の構築をサポートしづらい.

(2) 以下の原因により, 受講者が効率的に演習に取り組めない.

- ターミナルの区別が付きにくいいため, 目的の UML のターミナルではなく, ホストのターミナルや別の UML のターミナルを誤って操作してしまう.

- 仮想 NW のネットワークポロジはコマンド実行により形成される. このとき, コマンド引数の設計に手間取ったり, コマンド入力を間違えてしまい, 目的の仮想 NW を早く正確に作成できない.

- ネットワークポロジを正しく思い出せずに, 目的と異なる作業をしてしまう.

(3) セキュリティホールは発見されるたびに埋められているため, 演習したい攻撃によっては古い OS やツールが必要となる. このため, 様々なバージョンの UML からなる仮想 NW を構築したいが, 以下の原因により難しい.

- UML を稼働させる OS (以降, ホスト OS と呼ぶ) が UML のバージョンで決まる事例が確認されており, 様々な UML を混在させた仮想 NW を単一のホスト OS では実現困難である.

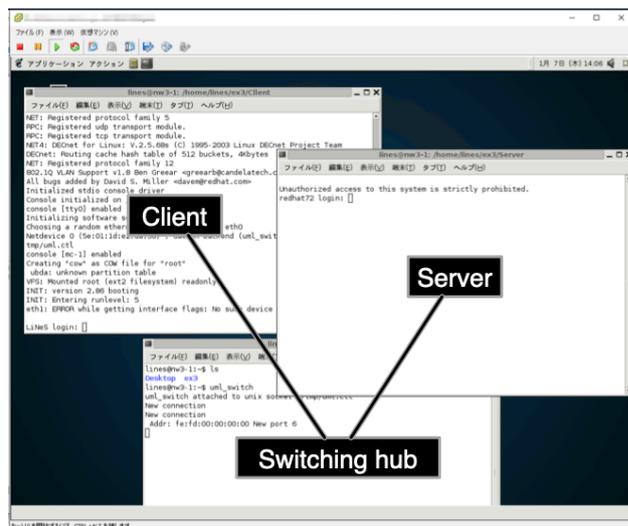


図 1 旧演習システム

Fig. 1 Older version of the exercise system.

- 異なるホスト計算機で稼働する UML や `uml_switch` を排他的に接続する機能をそれら自身が有していない.

これまでの研究 [3] で, UML を用いたネットワークセキュリティ演習のための, 直感的でシームレスな操作と軽快な応答性を目指したウェブ型演習システム LiNeS Cloud を提案した. このシステムは下記の特徴を持つ.

- 遠隔サーバ上に仮想 NW を実現し, それを操作できる動的なウェブページを提供する. また, UI とサーバ間の通信に文字転送と画面転送を使い分ける. これらにより, 受講者はブラウザを通じて演習環境を快適かつ容易に利用できる (問題点 1 を解決).

- 仮想 NW のトポロジーをマウスで操作できる動的なウェブページを提供する. さらに, そこに描画されたネットワークに UML のターミナルが対応づけられている. これらにより, 受講者はトポロジーを直感的に操作して仮想 NW を形成できる (問題点 2 を解決).

- 様々な遠隔サーバ上で稼働させた仮想機器間でイーサネットフレームを転送できるトンネルで接続したオーバレイネットワークを形成する. これにより, 様々なバージョンの UML を含む仮想 NW を形成できる (問題点 3 を解決).

本稿では, LiNeS Cloud に対する二つの評価実験について述べる. 一つ目の評価実験では, 被験者は LiNeS Cloud で簡易的な演習を行った後に, 良かった点と改善すべき点を各一つ以上記述する. これにより, 演習でのシステム利用における率直な関心とそれに対する評価を聞き出す. この結果から, 本システムの特徴が演習において重要視され, その効果が高いことを示す. 二つ目の評価実験では, 演習における主要な操作に対する応答時間および通信量を計測する. この結果により, 読者が自身の経験に基づいて提案システムの応答性を評価できる. また, 通信量が小さいものが多いことから, 帯域の狭いネットワーク経由での利用においても応答性の悪化を利用者に気付かせづらいことを示す.

2. システム概要

仮想機器であるサーバ、クライアント、ルータ、ファイアウォールを UML で、スイッチングハブを Linux の Bridge で実現する。

図 2 にシステム構成を示す。模擬サーバ (Simulation server) は設定サーバ (Configuration server) からの遠隔操作を受け付け、仮想機器を稼働させて仮想 NW を形成する。設定サーバは、仮想機器間の接続関係を編集するためのウェブページ (以降、トポロジーページと呼ぶ) と、UML のターミナルとの入出力のためのウェブページ (以降、ターミナルページと呼ぶ)、および UML の X クライアントとの入出力のためのウェブページ (以降、X ページと呼ぶ) を提供する。中継サーバ (Relay server) は、自身と模擬サーバとの間に作成されたイーサネットトンネルのトンネル口を Linux の Bridge で接続することで、二つの模擬サーバのトンネル口間でイーサネットフレームを交換できるようにする。端末サーバ (Terminal server) はターミナルページと UML のターミナルとの入出力を中継する。X 転送サーバ (X forwarding server) は、X サーバとして UML の X クライアントからの描画要求を受け付け、その出力を X ページに描画する。また、X ページからのユーザ入力を受け付け、X クライアントに送信する。Windows, Mac, Android や iOS のウェブブラウザを通じて、受講者は仮想 NW を管理する。

UML のホスト OS は UML のバージョンに依存し、演習では古いバージョンの UML を用いたいことがある。一方、新しい OS の方が安全かつ効率的にウェブ UI を開発・運用できるので、そのためのサーバには新しい OS が望ましい。このため、UML のホスト計算機 (模擬サーバ) とその他のサーバ計算機とを分け、模擬サーバをインターネットからアクセス不可能にした。

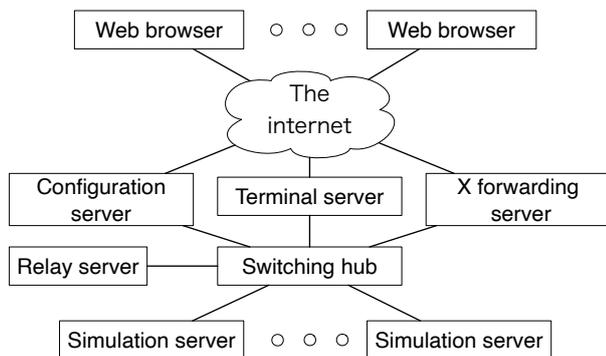


図 2 システム構成
Fig. 2 System overview

3. プロトタイプ

設定サーバを node.js, トポロジーページを javascript, jquery, ajax, SVG.js, ターミナルページを Xterm.js, 端末サーバを socket.io, 模擬サーバの遠隔コマンド受付を openssh, イーサネットトンネルを vtun, X 転送サーバおよび X ページを Xvfb および xpra にて実装した。

図 3 は Mac 版の Google Chrome での実行例で、上からトポ

ロジーページ、ターミナルページ、X ページが表示されている。図中 (1) から機器を選択した状態で、領域 (2) をクリックすると、選択した機器が描画される。ウィンドウ (3) は機器 cli のプロパティ画面であり、ウィンドウ下部のターミナル領域は模擬サーバ上で稼働している UML のターミナルを描画し、キーボード入力を受け付ける。ボタン (4) を押すと、機器 cli の X ウィンドウマネージャを表示するウィンドウ (5) が表示される。ウィンドウ (5) では、機器 cli で起動したブラウザ (X クライアント) が表示されている。なお、領域 (2) の機器を表すアイコンはマウスドラッグにより移動できる。

4. アンケート調査

提案システムの使用感を評価するための実験を行った。被験者は計 11 名で、そのうちの 3 名は旧演習システム (図 1) を筆者の担当するネットワークセキュリティ演習にて利用しており、さらにそのうちの 2 名はその演習にて TA を経験している。被験者は、演習システムを用いて次節で述べる演習問題を解き、その後自由記述のアンケートに回答した。

4.1 演習問題

この演習問題では、筆者の担当するネットワークセキュリティ演習における基本的な作業を被験者は実施する。各演習問題は、その達成目的に応じて下記に示す要素のいくつかを含む。各要素は値で指定されるものもあれば (例えば、サーバ A の IP アドレスを 192.168.0.1 とせよ)、条件で指定されるものもある (例えば、ネットワークアドレス 192.168.0.0/24 におけるサーバ A の IP アドレスを決めよ)。図 4 に示す演習問題では、最初に構成すべきトポロジーが最初に図示され、ステップ 1 においてサブネットマスクや IP アドレスの設定の例が示されている。

- 構成すべきトポロジー
- 設定すべきサブネットマスクや IP アドレス
- 成立すべき通信
- 構築手順の例 (例えば、ファイル編集例やコマンド実行例とそれらの実行順序)

被験者は下記のように提案システムを用いて演習問題を解く。

- トポロジーページにてサーバ、クライアント、スイッチ、ルータ、ファイアウォール、攻撃者マシンの設置・撤去とケーブルの接続・切断
- ターミナルページにて Linux コマンドの実行
- X ページにて wireshark の実行

4.2 アンケート

演習終了後に提案システムに対して「良かった点」と「改善して欲しい点」を各一つ以上アンケート用紙に記述してもらった。表 1 は、記述されたコメントのうちシステムの特徴に深く関わるものを掲載している。

No.1 は、少なくとも 3 名の被験者が自宅での PC 及びネットワーク環境にて簡単に演習できたことを示す。このとき、このコメントの根拠としてブラウザによるシステムへのアクセスが挙げられていた。このコメントは、提案システムの特徴 1 が演習の実施に有用であることを示している。

No.2 はトポロジーページでのネットワークトポロジーの可視

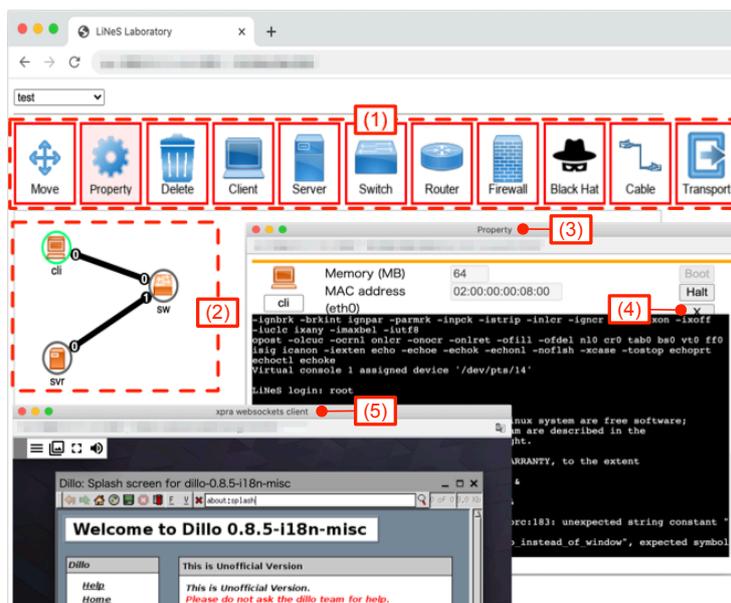


図3 ネットワークを管理するためのウェブページの例

Fig.3 Example of web pages for managing networks.

3.5 単一のネットワーク

本節では下図のネットワークポロジーを用いる。



3.5.1 ネットワークインタフェースの設定

システムの起動時に設定ファイルに基づいてネットワークインタフェースを設定するには、interfaces ファイルに設定を書き込んでおく。システムの起動時に ifup コマンドが実行されて、書き込んでおいた設定が反映される。

ステップ1 cli の interfaces を編集する。

```
[cli]# nano /etc/network/interfaces
auto eth0
iface eth0 inet static
```

図4 演習問題の例

Fig.4 Example of the exercise problems.

化表示 (図3の領域(2))へのコメントである。このほか、TA経験者からは「受講者の間違いを発見しやすい」というコメントを得た。これは、彼/彼女はTAの時にネットワークを構成する機器とそれらの接続関係を陽に示さない旧システム(図1)を使っていた学生をサポートしていたためである。No.3は、トポロジーページでのネットワークトポロジーの編集(図3の領域(1),(2))への意見である。このほか、旧演習システムの利用経験者からは「コマンド実行によるネットワーク構築より、短時間で済んで間違えにくい」というコメントを得た。No.4のような追加の操作方法の実装は今後の課題としたい。No.5には、例えば、トポロジーページのウィンドウをネットワークの領域(図3の領域(2))に応じて小さくした上で、ウィンドウが最初に表示される位置を画面の空き領域にすることで、それらのウィンドウを隠れにくくすることで対処したい。

本システムの特徴2は、No.2とNo.3の点により多くの被験者から高評価された。また、その改善の要望(No.4とNo.5)も特徴2をベースとするものであり、全く異なる操作方法(例えば、旧システムのような方法)は被験者から提案されなかった。また、ウィンドウを手早く探すための改善の要望(No.5)があ

る一方で、ウィンドウの選択間違いに起因する改善の要望はなかった。これらは、特徴2が問題点2を解決したことを示している。

No.6のような機能は通信実行時に出力を参照するなどして演習を効率的に進められると考えられる一方で、初学者にとってはIPアドレスをコマンド実行で表示させるのも演習の一部であるとも考えられる。このため、演習の進捗状況に応じてその機能の有効/無効を切り替えられるように導入したい。

表1 アンケート集計結果

Table 1 Questionnaire result

No.	コメント	人数
1	自宅からでも手軽に使える良かった	3
2	機器の接続関係や電源状態が一目で把握できて良かった	9
3	マウス操作による設置・撤去・接続・切断が簡単でわかりやすかった	5
4	右クリックによる操作を追加して欲しい	3
5	ターミナルページとXページのウィンドウをもっと手早く見つけたい	3
6	IPアドレスやサブネットマスクをエディタに表示して欲しい	1

5. 性能計測

5.1 計測環境

図5のネットワークの概要は下記の通りであり、このネットワークにおいてシステムの性能を測定した。図中のExercise serverは仮想マシンのハイパーバイザを担い、図6に示すネットワークを持つ。

- Exercise server
- CPU Ryzen 9 3900X

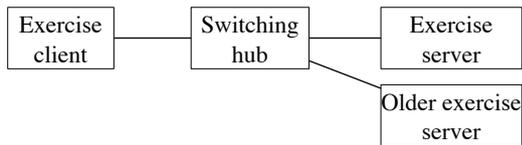


図5 実験用のネットワーク
Fig.5 Experiment network

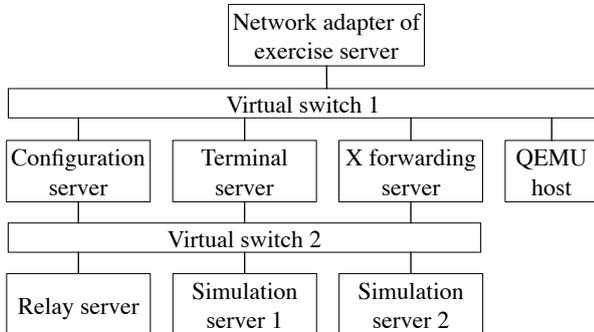


図6 演習サーバ内のネットワーク
Fig.6 Network in the exercise server.

メモリ 128 GB
ハイパーバイザ VMware ESXi-7.0

- Older exercise server

CPU Intel Xeon E3113 3.00 GHz

メモリ 24 GB

ハイパーバイザ VMware ESXi-5.0

- Exercise client

CPU Intel Core i5-7200U 2.50 GHz

Memory 8 GB

OS Windows 10 Pro

Browser Google Chrome 95.0.4638.54

vSphere Client vSphere Client 5.0.0.37933

- Exercise client, Exercise server, および Older exercise server 間のネットワーク

仕様 ギガビットイーサネット

5.2 操作の応答時間

Exercise client にて実行したブラウザで、Exercise server のトップページにアクセスして、実行した操作に対する応答時間 (秒) を計測した (表 2)。ケーブル (同一ホスト) は、接続する二つの仮想機器が同一の模擬サーバで稼働する場合に用いられ、ケーブル (異なるホスト) は、それらが異なる模擬サーバで稼働する場合に用いられる。ストップウォッチによる手作業で、操作を開始した時点で計測を開始し、その応答を確認した時点で計測を終了した。Client および Server の起動の応答時間は、起動を命令してからターミナルページに OS の起動メッセージの先頭が表示されるまでである。また、それらの停止の応答時間は halt コマンドを入力完了してから OS の停止完了メッセージの末尾が表示されるまでである。設置および撤去の応答時間は、図 3 の領域 (2) において操作を命令してから、その結果を確認できるまでとした。例えば、図 3 の領域 (1) で機器やケーブルなどを選択した後に、領域 (2) においてマウスで

表 2 操作の応答時間 (秒)

Table 2 Response time for operations

種別	設置	撤去	起動	停止
クライアント	3	5	1	9
サーバ	1	2	1	9
スイッチ	1	2	1	1
ケーブル (同一ホスト)	1	1	-	-
ケーブル (異なるホスト)	7	5	-	-

クリックした時点で計測を開始し、対応するアイコンが表示された時点で計測を終了する。

Client と Server は UML で実装されているが、設置と撤去にかかる時間が大きく異なる。これは、Client では各々の操作において X 転送サーバに X ウィンドウの表示に関する設定を施すためである。ケーブル (異なるホスト) の設置や撤去では、中継サーバへ各々の模擬サーバからトンネルの構築などをするため、ケーブル (同一ホスト) のそれらより時間がかかる。

5.3 通信量

表 3 に示す操作に対して、通信量及び通信時間を測定する。計測区間を図 5 の Exercise client (W と表記)、Older exercise server (O と表記) および図 6 に示す機器の頭文字 (Configuration, Terminal, X forwarding, Relay, Simulation, QEMU) を用いて、‘クライアント’-‘サーバ’ の形式で表す。測定に用いるネットワークプロトコルアナライザはクライアントにて稼働される。

No.1~6 は、提案システムのターミナルの応答性を他のシステムと比較することで評価するための計測である。No.2 と 5 では、Exercise client 上で起動した vSphere Client により Older exercise server での操作を実行する。No.3 と 6 では、QEMU 2.11.1 を QEMU host 上で稼働し、Exercise client 上で起動した Real VNC の VNC Viewer 6.21.118 から操作するものである。No.1~3 では、図 7 のようにターミナルにてプロンプトが表示された状態でエンターキーの押下により送信されたパケットから、応答のプロンプトの末尾を格納するパケットまでを計測した。No.4~6 では、ターミナルにて ‘man man’ を入力した状態でエンターキーの押下により送信されたパケットから、man のマニュアルページの表示のための最後のパケットまで計測した。提案システムの方が既存システムより捕獲したパケット量が少なく、計測時間も短いことがわかった。これは、ターミナルの描画に使用するデータが、提案システムが文字であるのに対し、既存システムが画像であることが原因と考えられる。従って、帯域の狭いネットワークほど提案システムの方が既存システムより軽快に動作すると考えられる。

No.7~20 は、提案システムの性能を評価するための計測である。No.9 の T-S では、ペイロードの暗号化により OS の起動メッセージの先頭を推測できなかったため計測できなかった。計測結果において、Server の起動と停止は Client と同様の結果 (No.9, No.10) となるため記載を省略した。No.20 の R-S は、模擬サーバ上で当該のトンネルプロセスを SIGKILL 信号で突然死させるため、Relay server と Simulation server 間での通信は発生しない。各操作の W-C 間の通信量は既存システムのター

表3 計測結果

Table 3 Measurement result

No.	操作	計測区間	通信量 (バイト)	通信 時間 (秒)
1	提案システムのターミナルでエンターキー押下	W-T	412	0.012
		T-S	478	0.011
2	旧演習システムのターミナルでエンターキー押下	W-O	13252	0.076
3	QEMUのターミナルでエンターキー押下	W-T	8409	0.083
4	提案システムのターミナルで man ページ表示	W-T	1383	0.177
		T-S	3366	0.177
5	旧演習システムのターミナルで man ページ表示	W-O	116177	0.203
6	QEMUのターミナルで man ページ表示	W-T	36885	0.598
7	Client を設置	W-C	5744	2.750
		C-S & C-X	15992	2.686
8	Client を撤去	W-C	3779	3.928
		C-S & C-X	23784	2.870
9	Client を起動	W-C	1338	0.439
		W-T	6453	0.051
		C-S	1338	0.429
		T-S	N/A	N/A
10	Client を停止	W-C	2222	8.184
		C-S	3672	8.182
11	Switch を設置	W-C	5645	0.435
		C-S	7702	0.380
12	Switch を撤去	W-C	3842	1.058
		C-S	7942	0.388
13	Switch を起動	W-C	1054	0.399
		C-S	7702	0.383
14	Switch を停止	W-C	1113	0.419
		T-S	7776	0.388
15	Server を設置	W-C	5857	0.839
		C-S	7958	0.774
16	Server を撤去	W-C	3842	0.801
		C-S	15694	0.754
17	ケーブル (同一ホスト) 接続	W-C	8931	1.081
		C-S	7800	0.390
18	ケーブル (同一ホスト) 切断	W-C	5792	0.506
		C-S	7734	0.400
19	ケーブル (異なるホスト) 接続	W-C	9434	7.094
		C-S & C-R	86350	6.550
		R-S	10230	6.164
20	ケーブル (異なるホスト) 切断	W-C	5792	4.291
		C-S & C-R	85772	4.209
		R-S	0	0

```

ACPI: Power Button (FF) [PDRP]
fan
thermal
Starting Advanced Configuration and Power Interface daemon: acpid.
Not starting internet superserver: no services enabled.
Starting periodic command scheduler: crond.

Debian GNU/Linux 4.0 debian tty1

Debian login: lines
Password:
Last login: Fri May 7 10:51:17 2021 on tty1
Linux debian 2.6.10-6-686 #1 SMP Fri Feb 19 23:40:03 UTC 2010 i686

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
[14:58:48,lines,/dev/tty1,LineS,~]
[14:58:55,lines,/dev/tty1,LineS,~]
[14:58:57,lines,/dev/tty1,LineS,~]
[14:58:58,lines,/dev/tty1,LineS,~]
[14:59:49,lines,/dev/tty1,LineS,~]
Press enter key

```

図7 QEMUのターミナル

Fig. 7 Terminal in QEmu

ミナルでエンターキー押下と比べて同程度かそれ以下である。このため、既存システムの快適な利用が困難なネットワークにおいても、提案システムでターミナル利用による演習であれば(すなわち、Xウィンドウアプリケーションを用いない演習)、快適にできることがあると言える。

6. おわりに

遠隔サーバ上で稼働するUMLによるネットワークをネットワークセキュリティ演習の受講者が効率的に利用するための演習環境を提案した。同一サーバ上であればUML間をLinux Bridgeにより接続し、異なるサーバ上であればUML間をLinux Bridgeとイーサネットトンネルにより接続することで、仮想NWを実現する。受講者はウェブブラウザに提示された、仮想機器間の接続関係を編集するためのウェブページと、UMLのターミナルとの入出力のためのウェブページ、およびUMLのXクライアントとの入出力のためのウェブページで、ネットワークを管理する。

プロトタイプシステムを用いて二つの評価実験を行った。一つ目では、被験者に簡易的な演習を行わせた後で、システムへのコメントを収集した。その結果、本システムの特徴1と2が演習において重要視され、その効果が高いことが示された。二つ目では、主要な操作に対する応答時間および通信量を計測した。通信量が小さいものが多いことから、帯域の狭いネットワーク経由での利用においても応答性の悪化を利用者に気付かせづらいたことが示された。

今後の課題として、被験者から指摘された操作性の向上が挙げられる。また、ラーニングアナリティクスを目的として、ユーザの操作履歴を収集する機能を実装したい。特に、ユーザのターミナルへの入力を一文字毎に収集と思われるため、精度の高いラーニングアナリティクスを期待できる。

謝辞 本研究はJSPS科研費20K12108の助成を受けたものです。

文 献

- [1] Jeff Dike, User Mode Linux, Pearson, 2006.
- [2] VMware, vSphere Single Host Management, <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere/5.5/com.vmware.vsphere.hostclient.doc/GUID-52A4C8B5-04F9-4571-9AC3-4FBED2DD9215.html>.
- [3] 立岩佑一郎, ネットワークセキュリティ演習のための直感的でシームレスな操作と軽快な応答性を旨としたウェブ型演習システムの開発, 情報処理学会研究報告, 2021-CLE-33(11), pp.1-6, 2021.