

# 石川高専における情報ネットワーク・セキュリティ教育の実践と評価

長岡 健一<sup>1)</sup>, 飯田 忠夫<sup>2)</sup>

1) 石川工業高等専門学校 電子情報工学科

2) 石川工業高等専門学校 技術教育支援センター

nagaoka@ishikawa-nct.ac.jp

## Practice and Evaluation of Information Network and Security Education at National Institute of Technology, Ishikawa College

Kenichi NAGAOKA<sup>1)</sup>, Tadao IIDA<sup>2)</sup>

1) Dept. of Electronics and Information Eng., National Institute of Technology, Ishikawa College.

2) The Technology and Education Support Center, National Institute of Technology, Ishikawa College.

### 概要

我が国では、情報通信ネットワークや情報セキュリティ分野における技術者は圧倒的に不足しており、これに対応できる高度人材を育成することが近年強く求められている。石川工業高等専門学校 電子情報工学科ではこのような課題に対応するため、より実践的なネットワーク工学およびセキュリティ演習を行っている。本報告では、我々が行ってきている教育実践事例について紹介する。また、学生評価アンケートからは肯定的な結果が得られ、一定の教育効果が得られていることなどについても述べる。

## 1 はじめに

近年我が国において、情報通信分野における基盤整備や情報セキュリティに関する重要性が顕著になっているが [1]、一方で、このような分野の技術者は絶対的に不足している。高等専門学校（高専）は実践的・創造的技術者を養成することを目的とした高等教育機関であり、この分野においてもより実践的な人材育成が求められ [2]、また産業界からも大きく期待されている。

石川高専（以下、本校）電子情報工学科においてもネットワークやセキュリティに関する教育は座学を中心に以前から行われていたが [3][4]、より実践的な教育を行うため、演習を通すことで技術や知識を深く習得させる教育コンテンツを開発することとした。ネットワーク工学演習では、実機ルータを演習用として多台数導入し、与えられた条件やセキュリティ課題に従ってルータを適切に設定することで LAN 環境を構築し、ネットワークに関する理解を深められるようにしている。また、セキュリティ教育では、クラッカーがよく用いるクラッキング手法を実際に行うことによって、これに対する防御技術を考察させる内容としている。なお、2020 年度はコロナ禍により、前期期間はすべての授業をオンラインで実施することとなった。そこで遠隔でも演習が行えるよう教材を改善し、対面時

と同様な内容で演習を実施した。

以下、我々が実施している演習内容と、学生による評価アンケート結果について述べる。

## 2 実践教育

### 2.1 ネットワーク工学演習

#### 2.1.1 演習概要

本校電子情報工学科において、ネットワーク工学に関する教育は以前からも行われていたが、演習環境の制限から実践的な演習は限られたものとなっていた。そこで、2018 年度より、CISCO Systems 社製ルータ (881) を演習用として多台数導入し、より実践的なネットワーク工学実験を行える演習プログラムを開発した。学生は、与えられた条件やセキュリティ課題に従って、ルータをデフォルトの状態から VLAN (Virtual LAN) や ACL (Access Control List) を適切に設定することで LAN 環境を構築し、さらに構築した LAN 上でさまざまな通信実験を行うことで TCP/IP やセキュリティに関する理解を深められることを目指している。また、2020 年度にはコロナ禍によって実機を使用した演習の実施が困難となったため、CISCO System 社が提供するネットワークシミュレータである「CISCO Packet Tracer」[5] を用いて実機を使用することなく同等の演習を行えるように教材を追加し、

# ネットワーク工学実験

電子情報工学実験Ⅳ

目的	CISCOルータの操作モード
原理	IOSではモードという概念があり、主に以下の3つのモードを持っている。
LAN	
MACアドレス	
TCP/IP	
IPアドレスの種類	
VLAN	
DHCP	
ホームゲートウェイ	
ネットワークとサーバ	
DNS	
ICMP	
ACL	
ファイアウォール	
Packet Tracer	
CISCOルータ設定	
停止	
インターフェイスの状態	
その他	
課題	
考察	

ユーザモード	ルータにログインした最初モード。pingなど基本的なコマンドだけが使用でき、ルータの設定や現在の設定情報も見ることができない。
プロンプト例	Router>
特権モード	ルータの設定情報やルーティングテーブルの確認など詳細な情報を見ることができ、設定は行えない。ユーザモードで「enable」あるいは「en」を入力することで特権モードに入ることができる。抜けるときは「exit」を入力する（ユーザモードになる）。
プロンプト例	Router#
グローバルコンフィグレーションモード	ルータの設定を行うことができる。特権モードで「config terminal」あるいは「conf t」を入力することでグローバルコンフィグレーションモードに入ることができる。抜けるときは「exit」を入力する（特権モードになる）。
プロンプト例	Router(config)#
特定コンフィグレーションモード	特定のインターフェイスやコントローラの設定を行うことができる。主にVLANやポートなどのインターフェイスの設定を行うのがインターフェイスコンフィグレーションモードである。
プロンプト例	Router(config-if)#

図1 ネットワーク工学実験指導書の一例

今年度まで3年間に渡って実践してきた。次節以降、具体的な演習内容とその実践例について、実機ルータを用いた演習、Packet Tracerを用いた演習に分けてそれぞれ述べる。

## 2.1.2 実機を用いた演習

電子情報工学科4年次「電子情報工学実験Ⅳ」において、2018年度、2019年度に、テーマ「ネットワーク工学実験」として、5コマ（1コマ90分）で実施した。学生は我々が作成した指導書に沿って実験を進める。なお、指導書は本校で使用しているe-Learningシステムで日本データパシフィック社の「WebClass」上で利用できるよう作成した。

まず1クラス40名を2名1組の20グループに分け、1グループにつき1台ルータCISCO 881を配置し、図2のようなネットワークを構築させる。CISCO社製のルータ等ネットワーク機器はIOSと呼ばれる独特のインターフェイスを持つため、その基礎的な操作方法から習得できるように教材を作成した。ルータ内側にVLANを設定し、上位ネットワークとはNAT設定を行って疎通できるようにしている。また、PC上にLinux (CentOS) をインストールし、基本的なネットワークサーバを1人1台構築する。

グループごとに構築したネットワーク環境を用いて以下の内容のネットワーク実験を行う。

- ICMP (ping, arp)
- DNSによる名前解決
- HTTPの設定とWeb動作確認
- ACL (Access Control List) によるVLAN間のセキュリティ設定と動作確認

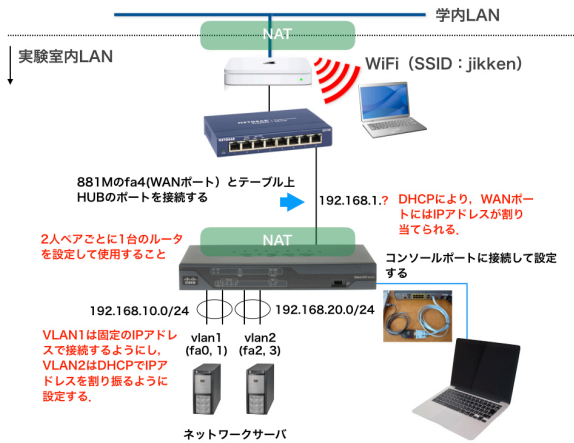


図2 構築するネットワーク



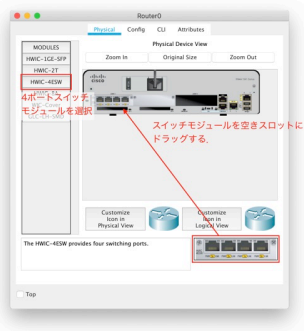
図3 実機ルータを用いて演習している様子

以上の課題をグループで実施し、得られた結果からネットワークにおける動作の考察を行い理解を深める内容としている。図3は演習を行っている様子である。

## 2.1.3 Packet Tracerを用いた演習

実機を用いた演習では基本的に学生2名で1台のルータを用いて作業を行うグループ演習形式となっていたが、前述したとおり、2020年度はコロナ禍によりこのような演習を実施することは難しくなった。また、この年度の前期のほとんどの期間（2020年4月から8月いっぱいまで）がオンライン授業を行うこととなったため、遠隔でも演習を可能とするよう、CISCO Packet Tracer[5]を用いて演習する内容とした。CISCO Packet Tracerとは、CISCO Systems社が開発したネットワークシミュレーションソフトウェアである。ワークスペースと呼ばれるウィンドウ上にルータやネットワーク機器を配置し、また配置された各機器に実機と同様なコンフィグレーション設定を行うことで、実際のネットワークと同じ動作をシミュレーションできる。2020年度以降はこの環境を用い

続いて、以下のように、空きスロット（左側）に4ポートEthernetスイッチモジュールを挿入する。



次に、以下のようにデバイスパレットの[End Devices]からPCとLaptopを選び、ワークスペースにドラッグする。

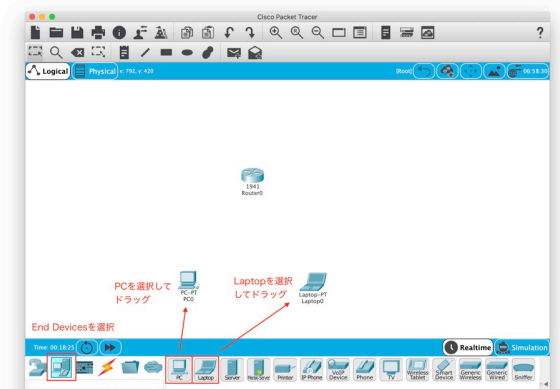


図4 PacketTracer を用いて演習を行う指導書の一例

て演習を行っている。図4にPacketTracerを用いて演習を行う指導書の一例を示す。

実機を使用した演習の際はルータの物理的な配置（ケーブルの接続や電源接続）、またLinuxサーバのインストール等で演習時間の多くを使用していたが、Packet Tracerではソフトウェアのインストールを行う程度となること、また遠隔実施においては、ある程度学生にも時間の余裕ができたこともあり、前節で説明した実機を用いた演習内容に加えて以下の項目を追加した。

- DNSサーバの構築と設定
- DHCPサーバの構築と設定
- Firewallを用いたパケットフィルタリング型の通信制限演習
- ホームゲートウェイ、WiFiルータの設置と設定（オプション演習）

2021年度、2022年度は対面にて演習を行ったが、2019年度と比較して1コマ演習時間を増やし、全体で6コマとしたため、上記項目を追加してもほぼ同様のペースで演習を行うことができている。なお、「ホームゲートウェイ、WiFiルータの設置と設定」はオプション演習としたが、これは、余力のある学生に実施

してもらった演習である。

#### 2.1.4 学生の評価

2022年度演習を行った学生40名に対して学生評価アンケートを行った。従って本アンケート結果はPacket Tracerを用いて演習を行った学生に対するものである。なお、実機を用いて演習を行った学生へのアンケートについては文献[7]にて報告を行っている。アンケートはSD (Semantic Differential method) 法により行い、主に教材の内容がネットワーク工学分野を学習することに適しているか、また教材を利用したことによる学生たちの理解度の変化などを調査している。具体的な質問項目を表1に、またアンケート結果を図5に示す。

図5より、全体的に肯定的な意見が多数を占めていることがわかる。ただし、質問項目B「演習内容の理解のしやすさについて教えてください。」では、「良い」がその他の質問項目と比較して最も少なく、「悪い」「やや悪い」というネガティブな意見がやや多くなっている。本学科では学生実験においてネットワーク工学、さらにはルータ設定などに類似した演習はこのテーマの他にはないため、いわゆる「とっつきにく

表1 ネットワーク工学実験に対するアンケートの質問項目

質問項目	内容
A	WebClassの教材における文章の簡潔さについて教えてください。
B	演習内容の理解のしやすさについて教えてください。
C	教材の図や画像、レイアウトの見やすさについて教えてください。
D	演習課題の量について教えてください。
E	教材内容の興味を持ちやすさについて教えてください。
F	課題を行った後の理解度の変化について教えてください。

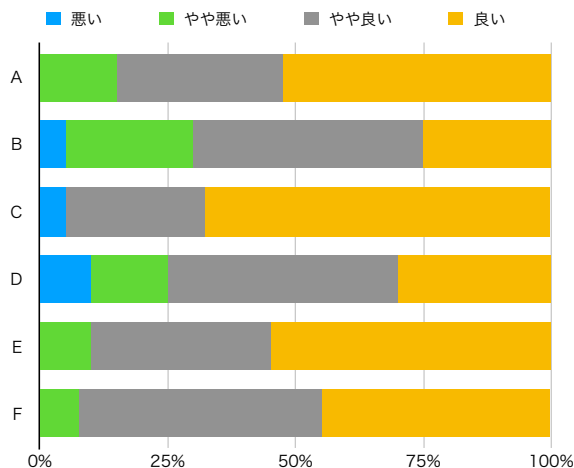


図5 ネットワーク工学実験学生評価アンケート結果

さ」がこのような回答に現れたのではないかと思われる。一方で、質問項目 F「課題を行った後の理解度の変化について教えてください。」ではほとんどが肯定的な意見を占めており、理解しにくい分野ではあるが、演習を通して習得度は向上したと考えられる。

その他自由記述回答のうち、肯定的なものとする否定的なものとの一部をそれぞれ以下に挙げる（すべて原文のまま）。

- 肯定的
  - 構築できた時、とても楽しく達成感がありました！
  - 普段何気に使っているネットワークの知識が少しついた気がします。
  - 面白いテーマで楽しめました
- 否定的
  - 図の文字が小さくて画質が良くないので目が痛くなりました
  - ACL の設定が大変でした。

他にもこれら自由記述において「楽しい」という評価が多く見受けられた。ルータ設定や VLAN の概念など、一見学生には受け入れられにくい実験と当初思われたが、我々の予想に反して概ねポジティブに評価されたといえる。

## 2.2 情報セキュリティ実験

本校電子情報工学科 5 年生「電子情報工学実験 V」において、テーマ名「情報セキュリティ」を 6 コマで実施した。内容は次の 3 部構成としている。次節以降それぞれについて述べる。

1. クラッキング手法の演習
2. CISCO ネットアカデミーの受講
3. CTF の基礎チャレンジ

### 2.2.1 クラッキング手法の演習

従来のセキュリティ教育では、セキュリティ対策技術を座学で行っているものが多い。現代社会では様々な手法でセキュリティ攻撃が行われており、これに対応できる人材の育成が必要である。そこで、脆弱なシステムに対するセキュリティ攻撃を実際に行うことにより、その攻撃手法および対策技術を習得できることを目標とした。

図 6 に示すような WebClass 上の教材を参照しながら「ネットワーク上の脆弱なサーバとユーザを見つけ、その SQL データベースから、すべてのユーザの氏名を盗みだし、さらにサーバ上に設置されている掲示板

電子情報工学実験 V

- 目的
- 原理
- 課題
  - 踏み台マシンへのログイン
  - 攻撃マシンの探索
  - Brute-Force attack
  - ターゲットサーバにログイン
  - シーザー暗号の解析
  - RSA暗号の解析
  - SQLインジェクション
  - XSS
- ツールの説明
- 考察
- CTFのチャレンジ
- CISCO ネットアカデミー
- 研究

本実験の課題は以下のようなものである。

「あるサーバのSQLデータベースから、すべてのユーザの氏名を盗みだし、そのサーバに設置してある掲示板に悪意あるコードを書き込んで、それを閲覧したユーザにそのコードを実行させる。」

全体のイメージを図に示す。

Microsoft Azure 上にある踏み台となるサーバ「atckcftjapaneast.cloudapp.azure.com」にのみインターネットでログインできるが、同一サブネット内に接続されているSQLデータベースを持った攻撃サーバのIPアドレスや、インターネット側のホスト名 (FQDN) は未知である。従って、以下のようにクラッキングを進める方法が考えられる。

- SQLデータベースがあるサーバを見つけ出す (サブネット内IPアドレスを何らかの方法で見つける)。
- サブネット内の攻撃サーバ(IPアドレス内にある脆弱なユーザアカウントを見つけてサーバにログインする (総当たり攻撃によりユーザIDとパスワードを解析する))。
- そのサーバのホスト名 (FQDN) を知る。
- インターネットを利用して、データベースサーバにWebでアクセスする (データベースにログインするためのユーザIDが書かれた暗号化されたファイルを解読する)。
- SQLインジェクションの脆弱性があれば、そこからデータベース内のユーザを盗み出す。
- サーバ上の掲示板に悪意あるコードを書き込んで、閲覧したユーザにそのコードを実行させる。

これらのクラッキングを、以降のページに示す手順やヒントを参考にしながら実行しなさい。

なお、本実験の目的はサイバー攻撃の手法を知ることによって、より安全にサーバ運用するための知識の習得と防衛手法を考察することである。実験中に示す手法を悪用することは絶対にしないこと。このような行為を一般のネットワークやサーバに対して行うことは不正アクセス禁止法により処罰される。

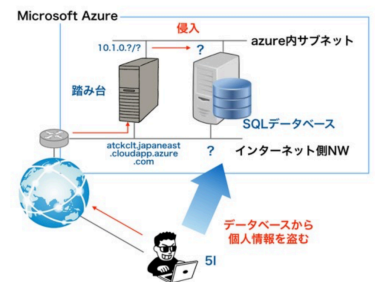


図 6 クラッキング手法演習の教材一例

に有害なスクリプトを書き込んでみよ」というテーマに従い、現状のクラッキング技術を演習しながら、セキュリティ対策技術について学ぶ内容としている。社会でしばしば問題となる以下の情報セキュリティに関する攻撃手法や対策技術を演習に含めた。

- ポートスキャン
- ブルートフォース攻撃によるパスワード解析
- SQL インジェクション
- クロスサイトスクリプティング
- 公開鍵暗号技術

本教材では、仮想基盤と脆弱性 Web アプリケーションを利用した演習環境を構築した。脆弱性のあるシステムを利用するには、ある程度閉じた (アクセス制限を用いた) ネットワーク環境で、またシステムの初期化が容易な仮想サーバを用いるのが適切と考えている。そこで Microsoft Azure を用い、脆弱性のある仮想マシンに 40 名程度の学生が攻撃を行うようなシステムとしている。そして、演習を行う脆弱システムとして DVWA (Damn Vulnerable Web Application) を用いた。これは次のような脆弱性を含む Web アプリケーションである。Linux 上の PHP/MySQL を利用して動作する。

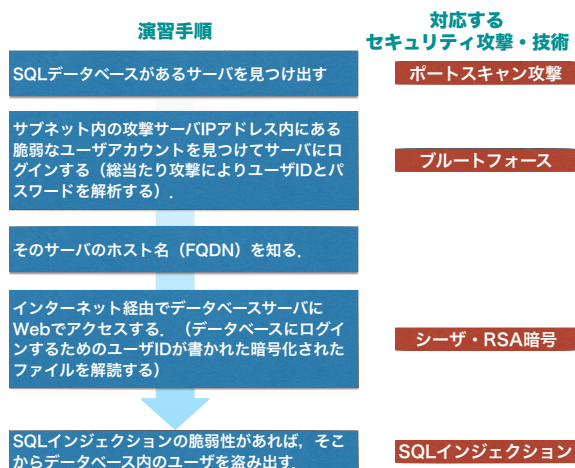


図7 クラッキング手法演習の流れ

- Brute Force
- Command Execution
- Cross Site Request Forgery (CSRF)
- Insecure CAPTCHA
- File Inclusion
- SQL Injection
- Insecure File Upload
- Cross Site Scripting (XSS)
- Easter eggs

図7に演習の大まかな流れを示す。Microsoft Azure 上にある踏み台となるサーバにインターネット経由でログインし、同一サブネット内に接続されている IP アドレスとインターネット側のホスト名 (FQDN) が未知の SQL データベースを持ったサーバに対してクラッキングを進める。それぞれの攻撃手法は、ヒントとともに、WebClass 上の教材で示している。また、実際にこれらの攻撃を行うと不正アクセス禁止法で処罰の対象となることについても説明している。

### 2.2.2 CISCO ネットアカデミーの受講

CISCO ネットアカデミー [6] の「Introduction to Cybersecurity」を自習形式で受講させる。CISCO ネットアカデミーとは、世界中の機関や個人を対象とした IT スキルとキャリア構築プログラムであり、ネットワークやセキュリティなどに関する幅広い学習教材を e-Learning で学べるシステムである。筆者は CISCO ネットアカデミーのインストラクタ認定を受けているため、コンテンツのコース開設や学生への展開が可能となっている。そのうち、セキュリティに関する内容においてもっとも基本的なコースである「Introduction to Cybersecurity」を教材として用い



図8 「Introduction to Cybersecurity」のコースインデックスの一例

た。本コースは以下の5章構成となっており、より社会で求められる実践的なセキュリティの知識を習得することができる。

1. サイバーセキュリティの必要性
2. 攻撃，概念，技術
3. データとプライバシーの保護
4. 組織の保護
5. あなたの将来とサイバーセキュリティ

図8にコースインデックスの一例を示す。また同コースで準備されている最終試験によって総合的な理解度の確認を行う。2022年度の学生の最終試験成績の平均得点率は81.46(%)であった。

### 2.2.3 CTFの基礎チャレンジ

CTF (Capture The Flag) は、情報セキュリティについて与えられた課題に対し、ネットワークやセキュリティに関して自らが持つ技術や知識を用いてその答え (Flag) を見つけ出す競技で、近年セキュリティのイベントにおいてコンテストとして多く行われている。高専でもこのようなコンテストに興味を持ち参加する学生が増加しており、CTFにチャレンジするきっかけを与えることを目的として、基本的なCTF問題を解く課題を設定した。図9に本演習のCTF課題例を示す。一つ目は写真のExif (EXchangeable Image File Format) データを解読して撮影された場所を探し出すものである。その他2つは与えられたファイルからさまざまな特徴を抽出してFlagを見つけるもので、CTFコンテストで出題された例 [8] を出題している。

### 2.2.4 学生の評価

定量的な評価は今のところ行っていないが、以下のような学生からの感想が得られている。

- 暗号がどのようなメカニズムで用いられているかが知れてよかった。

## 情報セキュリティ

電子情報工学実験V

<input type="checkbox"/> 目的	1. 下の写真の場所は何処か。その場所がFLAGである。なお、写真の風景などで場所を
<input type="checkbox"/> 原理	考えるのではなく技術的に特定すること。
<input type="checkbox"/> 課題	
<input type="checkbox"/> ツールの説明	<b>写真</b>
<input type="checkbox"/> 考察	
<input type="checkbox"/> CTFのチャレンジ	
<input type="checkbox"/> <b>CTF基本問題</b>	2. 下の「問題ファイル」からFLAGを探し出さない。フラグはflag[XXX]の形式にな
<input type="checkbox"/> CISCO ネットアカデミー	っている。XXXの文字列がFLAGである。
<input type="checkbox"/> 研究	<b>問題ファイル</b>
	3. 下の「problem3.pcap」のファイルからFLAGを探し出さない。FLAG文字列のフ
	ォーマットはctf4b[XXX]です (XXXの文字列がFLAGである)。
	<b>problem3.pcap</b>

図9 CTFの基礎チャレンジの課題例

- 実際にクラッキングしてみて、セキュリティの大切さを感じることが出来た。
- セキュリティの脆弱性に対する攻撃を一連の流れを通して体験できたことで、攻撃の脅威を知るとともに、自分の使っているアカウントや端末のセキュリティについて考える良い機会となった。
- 本実験でRSAの暗号化、復号化のプログラムを作成したことでRSAの手続きがわかった。
- CISCO Networking Academyの実施により、より現実的な脆弱性に対する対策について学ぶこともできた。
- CTFはゲーム感覚でFLAGを探すことができ非常に楽しかった。もしCTFのコンテストについて機会があれば参加したいと思った。
- CTFの問題は脱出ゲームを連想させる面白い問題だった。

今後、第2.1節の「ネットワーク工学演習」で行った手法を用いて教材や演習内容について定量的評価を行い、教育効果や改善点等を明らかにする必要がある。

### 3 まとめ

石川高専電子情報工学科において実施している、ネットワーク工学および情報セキュリティに関する実践的演習について報告した。また、学生による評価アンケートを行ったところ、概ね肯定的な結果が得られ、一定の教育効果をあげられていると考えられる。一方、ネットワーク工学に関する演習では、ルータの設定等については「とっつきにくい」内容であることが学生の評価からわかった。演習後に理解度が向上してはいるものの、より学生が取り組みやすい演習内容に改善していく必要がある。また、情報セキュリティ演習では、自由記述より学生の肯定的評価が多く得られた。今後はより詳細に評価を行い、具体的にどのよ

うな工夫を行えばさらに教育効果の向上を達成することができるかなどを明らかにしていく予定である。

### 参考文献

- [1] 総務省，“ICT人材の不足・偏在”，令和3年度情報通信白書，2021.
- [2] 経済産業省 商務情報政策局情報処理振興課，“IT人材育成の状況等について”.
- [3] 長岡健一，喜多啓介，“ネットワークシミュレーションのためのウェブインターフェースの開発と評価”，電子情報通信学会総合大会講演論文集，D-6-12，2013.
- [4] Kenichi NAGAOKA，“Development and Evaluation of the Web Interface of NS2 for Network Engineering Education”，International Symposium on Advances in Technology Education，26，p.132，2014.
- [5] CISCO Systems，“Cisco Packet Tracer”，<https://www.netacad.com/ja/courses/packet-tracer>
- [6] シスコシステムズ，“シスコネットワークアカデミー”，[https://www.cisco.com/c/m/ja\\_jp/netacad.html](https://www.cisco.com/c/m/ja_jp/netacad.html)
- [7] 長岡健一，飯田忠夫，“実践的ネットワーク工学教育”，全国高専フォーラム2019，2019.
- [8] 清水祐太郎，竹迫良範，新穂隼人，“セキュリティコンテストのためのCTF問題集”，マイナビ出版，2017.
- [9] 長岡健一，“仮想基盤を用いた情報セキュリティ教育”，平成28年度全国高専フォーラム，2016.