

〔論 文〕

インターネット普及社会における 効果的なネットワーク教育

三 好 哲 也

要 旨

情報化の進展に伴って情報通信網が社会の重要なインフラとなっている。文理問わず情報通信ネットワークについての理解は不可欠であり、情報リテラシーの一環として情報通信ネットワークに関する知識教授が重要になっている。本研究では、情報通信ネットワークについて既存の教授方法の調査を行い報告する。情報通信網では階層的にモデル化された多数のプロトコルによって制御されることに対する理解の困難性を取り除く演習やロールモデルの効果についてまとめる。その上で、本学で展開する教授方法を報告しその教育上の優位性と改善点についての考察を報告している。

キーワード：情報通信ネットワーク、仮想化技術、UMI (User Mode Linux)、シミュレータ

1 はじめに

情報通信サービスの普及により、サービスの大部分が情報通信網を通じて提供されるようになり、その割合はますます増加している。この傾向を考慮すると、ビジネスの展開方法も情報通信サービスに依存していると言える。そのため、ビジネスやサービスを担う全ての関係者が情報通信の基礎原理を理解することで、新しいサービスのアイデアや計画を立案し、効率的な協議を行うことが容易になる。生活者の視点からも、情報通信ネットワークの仕組みを理解することは、情報リテラシーの重要な領域である。

このような観点から、情報通信ネットワークの原理や仕組みを理解することは、エンジニアだけでなく多くの社会人にとって有益であり、そのため情報リテラシー教育の一環として学習を進めることが好ましい。

情報リテラシー教育は、知識と情報処理技術

の統合を重視し、演習を中心に展開されている。演習を通じた教育が情報処理技術の習熟を促進し、理論や仕組みの理解を深める効果があることが示されている。特に、空間的な広がりを踏まえて情報通信ネットワークの理論を学ぶ際には、実際の通信手順やプロトコルの視覚的提示が理解促進に効果的であると報告されている。また、情報通信についてほとんど知識がない学習者に対しては、ロールプレイを通じて通信原理を理解させる教育効果も議論されている。

本報告では、情報通信ネットワークの基礎的な教育におけるネットワーク演習方法の検討のために、これまでのネットワーク演習に関する研究発表に対して調査し、その集約結果を報告する。先行研究に対する調査においては、実機を用いる場合も含めて調査を行ったが、研究報告の殆どは、無料で提供されるネットワークシミュレータや仮想空間上で構築されるネットワーク上で実施する演習に関する研究報告で

あった。これらを教育に用いるための方法論とその効果について筆者が集約した先行研究[38]と大学講義で展開した実践例をまとめ、今後の教育に展開する場合についての考察を報告する。

2 演習を伴う通信ネットワーク教育

情報通信ネットワークの技術的教育は、サイバー空間で、ネットワーク機器が多数の通信プロトコルに従って情報通信を行うため、段階的に学習すると全体像の理解が容易ではない。実機やシミュレータを用いてネットワーク全体の通信を視覚化するなどの教育方法が提案され評価されている。情報通信ネットワークの技術的教育に関する先行研究を表1に示すとともに、以下に、類似の教育方法でまとめて、内容を説明する。

2.1 通信を視覚化する初学者向け教材開発

情報通信ネットワークの理論の学習においては、実際に送受信される情報を視覚的に確認することによって、その通信手順や通信プロトコルの理解が促進されると報告されている[例えば、1, 2, 3, 4]。中学校や高等学校における情報科目では、情報通信技術の基礎教育において、通信状況を物理的に可視化し、直接操作することが有益であると報告されている[17, 18]。高校の情報科目の内容が不十分であると指摘された中、香山らはデータリンク層のビット同期やエラー検出の仕組みを視覚化する教材を提案し、ワンボードコンピュータ Arduino とビジュアル生成ソフト Processing を用いた通信状況の視覚化システムの教育効果を検討している[17]。さらに、吉原らは IP アドレスの設定や Ping による導通確認の演習を提案し、初学者への興味喚起や実体験による知識の定着を報告している[18]。情報通信の初学者に対しては、機器やシミュレータを用いないアンプラグドな教育方法が有効であり、データの伝送路やルータの役割をロールプレイする演習[19]や、手

使ったデータ伝送の実験を通じて通信性能を考察する参加型シミュレーションが提案されている[29]。実機の空間で、ネットワークパケットをキャプチャし、その内容を表示・解析するためのオープンソースである Wireshark を用いて、通信内容を理解させる教育の効果についても検討されている[22, 35]。

2.2 シミュレータを用いた教育

シスコシステムズ社は、ネットワーク技術者の育成を目的として世界中でシスコネットワークア카데미 (Cisco Networking Academy, CNA) という教育プログラムを展開している[32]。CNAでは、情報ネットワークに関する知識と機器操作の技術を提供しており、実機を使用したネットワーク構築演習がカリキュラムの一環として必須事項となっている。

しかし、CNA以外の他の教育機関では機器の維持や複雑な演習の準備が財政的に難しく、実機を使用する場合は演習場所が限定され、学習時間が制限される課題も生じている。このような状況を解消するために、シスコシステムズ社は Packet Tracer というネットワーク構築シミュレータを提供している[30]。Packet Tracerを使用すると、ネットワーク機器や端末の物理的な機器配置や論理的な配置を視覚的に確認しながら、ネットワーク設定を行うことができる。また、通信制御のテストやパケットのフィルタリングなど、実際のテストを容易に行うことができる。Packet Tracerを利用した教育効果を評価した研究も多く、国内外での利用が広がっている[7, 11, 13, 16, 21]。

2.3 仮想空間ネットワーク構築教育ソフト

コンピュータの高機能化に伴い、ハードウェアを効率的に利用するために仮想化技術が広く利用されている。この技術はホスト型、ハイパーバイザ型、コンテナ型に分類されるが、ホスト型の一つである UML (User Mode Linux) をネットワーク教育のプラットフォームとして

Aug. 2024

インターネット普及社会における効果的なネットワーク教育

表 1 既存研究の研究目的, 評価対象などの比較

文献 番号	題目	発表年	利用ソフト	教育対象	機能 理解のための 情報の可視化 (自作以外)	シミュレータ による実習	実習環境の 提供	比較など 効果の検証	授業環境 設定の自動化	成績評価 の自動化	教授方法 の改善
[1]	TCPセッションを考慮したパケットモニタリングツール	1994	自主開発 機能: 可視化		○						
[2]	誤り検出の目視検証システムの試作	1994	自主開発 機能: 可視化	大学生などの初 学者	○						
[3]	TCP/IP プロトコル学習ツールの開発と評価	2003	自主開発 機能: 可視化	大学生 117 名	○						
[4]	LAN 構築シミュレータの開発と教育手法の改善	2001	自主開発	大学生などの初 学者	○						
[5]	教育向けネットワークシミュレータの開発	2003	自主開発				○				
[6]	Vmware を利用したネットワーク管理者教育の試み	2003	Vmware	大学生 3 年生			○				
[7]	Using a Network Simulation Tool to engage students in Active Learning enhances their understanding of complex data communications concepts	2005	packet tracer	大学生 66 人		○					
[8]	仮想環境ソフトウェアに基づく LAN 構築技能と TCP/IP 理論の関連付け学習のためのネットワーク動作可視化システムの開発	2007.4	UML を利用して 自主開発	大学生		○	○		○		
[9]	Design of a computer networking laboratory for efficient manageability and effective teaching	2009	なし	大学生				○			
[10]	ネットワーク学習支援のための経路制御可視化アプリケーション開発	2011	自主開発	大学生		○	○	○	○		
[11]	Teaching Innovation in Computer Network Course for Undergraduate Students with Packet Tracer.	2012	packet tracer	学部生		○					
[12]	仮想プラットフォームを用いたネットワーク実習環境開発に関する研究において実現した IP ルーティング実習環境開発とその評価	2012	自主開発	高専 4 年生			○				
[13]	Comparison between physical devices and simulator software for Cisco network technology teaching.	2013	packet tracer	大学生		○		○			
[14]	Teaching Advanced Concepts in Computer Networks: VNUML-UM Virtualization Tool	2013	UML を利用して 自主開発			○	○				
[15]	ネットワーク演習のための仮想サーバ構築	2014	Hyper-V と自主 開発	大学生			○		○		
[16]	A small network simulator for learning routing fundamentals	2018	自主開発		○	○					
[17]	情報通信ネットワークにおけるプロトコルの基本概念理解のためのハンズオン教材	2018	ハードウェアも 含めたシステムの 自主開発	高校生	○						
[18]	物理的可視化と物理的直接操作による IP アドレスの仕組みを学習するための教材の開発と評価	2018	ハードウェアも 含めたシステムの 自主開発		○						
[19]	通信の仕組みを理解するためのロールプレイ演習の開発と実践	2018	ロールプレイ・ アンブラグド学 習								○
[20]	Automating the Configuration Management and Assessment of Practical Outcomes in Computer Networking Laboratories	2018	自主開発				○		○	○	
[21]	コンピュータネットワーク構築の学習における学習者から見た実機演習とシミュレータ演習の比較	2019	packet tracer	大学生		○		○			
[22]	TCP/IP ネットワークの理解を促進する無線パケットキャプチャ演習の開発と実践	2019	Wireshark を用 いた演習		○						
[23]	Flipped Classroom Model for Advanced Networking Courses	2019	packet tracer & 反転授業			○					○
[24]	一般情報教育における Amazon Web Services を利用したサーバ構築演習	2020	クラウド	大学生		○					
[25]	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	2021	UML を用いた自 主開発	大学生		○	○				
[26]	仮想化技術を用いたネットワーク演習環境	2021	UML を用いた自 主開発	大学生		○	○				
[27]	DDoS 攻撃対策演習を可能とするネットワークセキュリティ学習支援システム	2021	GNS-3	大学生 9 名			○				
[28]	ネットワーク機器の内部処理の可視化を可能とする QoS 制御学習支援システム	2022	UML を用いた自 主開発	大学生			○	○			
[29]	データ通信方式の特徴を科学的に理解する探究型の授業実践	2020	ロールプレイ・ アンブラグド学								○
[37]	パケットキャプチャ演習が通信の仕組みの理解にもたらす効果	2018	Wireshark	大学生 3 年	○						
[38]	LiNeS Cloud: A Web-Based Hands-On System for Network Security Classes with Intuitive and Seamless Operability and Light-Weight Responsiveness	2022	UML を用いた自 主開発	大学生			○				
[39]	Scenario-Based Virtual Network Infrastructure Management in Research and Educational Testbeds with VNUML	2009	UML を用いた自 主開発	大学生			○	○			

活用する研究が増えている [37]。立岩らの研究グループはLAN構築を想定し、UMLを使って仮想的なネットワークを構築するシステムを提案している [8, 25, 26, 36]。一方、井口らの研究グループも同様の手法を用いて、ルータやスイッチの設定を行う演習のプラットフォームを提供している [33, 34, 26, 27, 28]。これらの研究では、ネットワーク構築演習やセキュリティ対策の演習など、さまざまな教育目的に対応している。国内外での研究報告から、仮想化技術を用いた演習環境の構築が学習において重要視されていることが分かる。

2.4 仮想化ミドルウェアを用いた演習教育

仮想化技術として多様なミドルウェアが提供されているが、VMwareやHyper-Vといった代表的なホスト型およびハイパーバイザ型のソフトウェアを使用したネットワーク演習環境の開発が報告されている [6, 15]。VMwareを使用した場合、大学のファイアウォール内で仮想的なネットワークを構築できるため、インターネットとの接続を確保できるという利点がある [6]。一方、Hyper-Vを使用した研究では、比較的小規模な受講者数を想定し、自動構築された演習環境を提供している [15]。調査した既存研究の範囲では、授業への展開数は少ない。また、レイヤースイッチ3を用いたセグメント分割などの方法が検討される必要がある [15]。

3 UMLを用いたネットワーク教育

3.1 講義のねらい

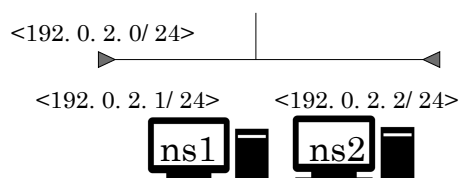
本節では、筆者が科目「ネットワーク演習」で実践した演習について説明する。受講対象は、TCP/IPの概要とネットワークプロトコルの階層性を学習する授業と平行して、ネットワーク演習を受講する学生が主要な受講生である。仮想環境でのネットワーク構築演習を通して、講義で学ぶプロトコルの内容の理解を深化させることが、演習の目的である。

3.2 演習環境

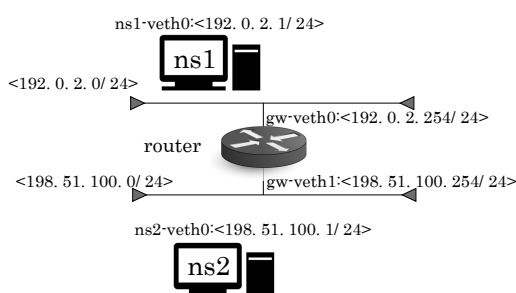
本学での基本的なOSはWindows 10 (2023年度)であったので、Linux環境を構築するために、VirtualBox 6.0上にUbuntu 20.04をインストールしたSSDを受講生に提供した。受講生は、授業の開始と同時にVirtualBoxからUbuntuを起動して受講するようになっている。LinuxのNamespaceコマンドを使って、仮想ネットワーク環境を構築する演習とした。

3.3 設定した演習課題

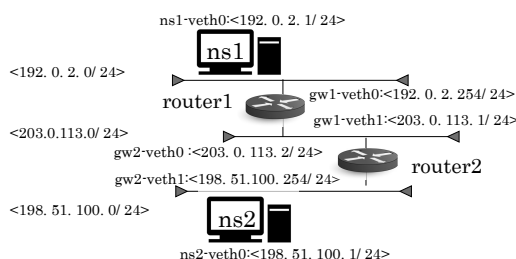
インターネット上の通信は、TCP/IPと呼ば



(a) 演習課題 1



(b) 演習課題 2



(c) 演習課題 3

図1 演習課題のネットワークトポロジー

Aug. 2024

インターネット普及社会における効果的なネットワーク教育

れるプロトコル群で実現されているが、本演習では、その内、データリンク層とインターネット層によるパケット通信を理解するために以下の3段階の演習課題の実施とその後のパケット通信モニタリングの演習から構成した。

- 1) LANケーブルで直接接続されている2台のPCの通信
- 2) 1台のルータに接続された2つのネットワークセグメント上のPCの通信
- 3) 2台のルータを経由して接続するネットワークセグメント上のPCの通信

を段階的に、構築する演習をそれぞれ2回の演習時間で行う課題を設定した。これらの演習課題において設定するネットワークトポロジーを図1に示す。さらに課題3)の後に、端末間の通信パケットをtcpdumpでモニタする演習を課している。例えば課題1)では、端末の作成、各端末にネットワークリンクの作成、ネットワークリンクの端末への割り当て、IPアドレスの設定、リンクのアップを9回のCUI入力で設定が完了する。もちろん、設定の後に設定内容に間違いがないかを確認するためのコマンド入力も入れると15回程度になる。課題3)では、1)に比較して、ルータが2台増加し、ネットワークセグメントも3になるため、課題を終えるためには、29回のコマンド入力が必要な課題である。

3.4 演習課題実施結果

ここでは、tcpdumpも含めた4つの課題の評価状況を実施結果として受講者46人中、レポートを1つも提出しない受講者を除いた32人(1年12人、2年10人、3年10人)の学年別平均得点率を課題ごとに集計した結果を図2に示す。学年進行するほど平均得点率は高く、処理手順が増加するほど平均得点率は低下する。特に手順が増加する演習課題では、初学者である1年生の得点低下率が顕著であった。CUIベースであるが、設定を確認する方法も教示しているが、その処理手順の理解が十分でなくトラブルシューティングが困難になっている状況が示唆

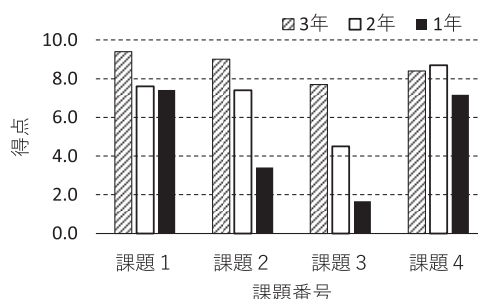


図2 演習課題の平均得点

されている。tcpdumpによる演習の全段階で、演習課題をオンラインで説明した際のビデオを配布した結果、多数の受講者がビデオを参考に課題提出したので、平均得点が向上している。

4 ネットワーク教育における演習方法とその効果に関する考察

情報教育における演習が知識の修得とその応用性を高めることが認められている。情報ネットワーク論の教育においても、演習の重要性が認識され、演習環境の整備、演習を含めた教授方法、学習環境の自動化など多面的な研究成果が国内外で報告されている。文献[38]では、可視化、演習システムのユーザインタフェースについて考察を行っているが、前節で述べた演習課題についてこれらの観点から考察を行う。

4.1 プロトコル理解のための可視化

文献[38]でまとめられた既存研究では、通信パケットの様子を視覚化することで、抽象化された通信を理解させる効果があると報告されている[2, 3, 4]。国外の研究発表では、Packet Tracer等のネットワークシミュレータ上で通信内容を確認する演習を設定し学生の理解を導いている。

今回設定した演習課題では、コマンドをターミナルに直接タイプするCUI(CLI)で行う演習課題であり、設定の単純な課題1)は、初学者であってもほとんどの受講生が演習課題を処

理できた。しかし、複数のルータを介する通信ネットワークの設定になると約半数しか演習を完了できなかった。コマンドラインによる設定確認ができるが、それだけでは十分なトラブルシューティングができないケースがあり、初学者には何らかの視覚的フィードバックが必要であることが示唆されている。

4.2 演習システムのユーザインタフェース

ネットワーク演習を設計するときの重要な点の一つとして、学習者のスキルに沿った演習課題の設定が挙げられる。サーバ周りの通信状況をモニタする場合、通常はtcpdumpなどのコマンドを用いてモニタをする場合が多いが、Linuxコマンドに不慣れな学習者の場合、主たる演習課題を開始できないことが生じる。このようなことがないように初学者にも操作が容易なGUIインタフェースを準備する演習システムが発表されている[8, 33, 34]。特に、ネットワーク構築演習においては、ネットワークを構成するルータやスイッチ及び端末をマウス操作で設定できるようになっており、スムーズに演習を実施できるような工夫がなされている。前節で設定した演習課題においては、CUIのみの演習となっており、初学者ほど得点率も低くなっていることを考慮すると、理解を促進するためにはCUI以外のモニタ方法の提示が必要であることが示されている。

5 おわりに

本報告では、情報化が進展する中で情報通信ネットワークの技術的な理解を要する機会が増えており、理解を促進する教授方法についての分類を行った。その上で、仮想空間でのネットワーク構築演習の紹介を行うとともに、先行研究との対比の中で、その改善点について考察した。学年が混在した講義運営において適切な教授内容を引き続き検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 山根健一, 矢吹道郎, TCPセッションを考慮したパケットモニタリングツール, 情報処理学会 第47回全国大会講演論文集, 1994
- [2] 市村洋, 誤り検出の目視検証システムの試作, 電子通信情報学会技術研究報告, ET94-52, pp.55-62, 1994
- [3] 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, 44, pp.3242-3251, 2003
- [4] 早川正昭, 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全国大会講演論文集, 26, pp.367-368, 2001
- [5] 木村昌史, 精樋幹人, 教育向けネットワークシミュレータの開発, 情報処理学会 第65回全国大会講演論文集, 2003
- [6] 中川泰宏, 須田宇宙, 浮貝雅裕, 三井田惇郎, VMwareを利用したネットワーク管理者教育の試み, 情報処理学会第65回全国大会講演論文集, 2003
- [7] Cecil Goldstein, Susanna Leisten, Karen Stark, and Alan Tickle, Using a Network Simulation Tool to engage students in Active Learning enhances their understanding of complex data communications concepts, Proc. On the Australasian Computing Education Conference 2005
- [8] 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理論の関連付け学習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, 48-4, pp.1684-1694, 2007
- [9] C. E. Caicedo and W. Cerroni, Design of a computer networking laboratory for efficient manageability and effective teaching, Proc. On Frontiers in Education Conference, 2009, FIE'09, 39th IEEE, 2009
- [10] 川西千晶, 今井慈郎, ネットワーク学習支援のための経路制御可視化アプリケーション開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 第110巻, 第453号, pp.181-186, 2011
- [11] Zhang, Yongbin & Liang, Ronghua & Ma, Huiling, Teaching Innovation in Computer Network Course for Undergraduate Students with Packet Tracer., IERI Procedia. 2, pp.504-510.10.1016/j.ieri.2012.06.124, 2012
- [12] 牛込翔平, アサノ デービッド, 鈴木彦文, 仮想プラットフォームを用いたネットワーク演習環境開発に関する研究において実現したIPルーティング演習環境開発とその評価, 教育システム情報学会研究報告, 27(2), pp.131-136, 2012

Aug. 2024

インターネット普及社会における効果的なネットワーク教育

- [13] Liangxu, Sun & Wu, liansheng & Zhang, Yujun & Yin, Hang., Comparison between physical devices and simulator software for Cisco network technology teaching., pp.1357-1360. 10.1109/ICCSE.2013.6554134
- [14] A. Ruiz-Martinez, F. Pereniguez-Garcia, R. Marin-Lopez, P. M. Ruiz Martinez, and A. F. Skarmeta-Gomez, Teaching Advanced Concepts in Computer Networks: VNUML-UM Virtualization Tool, IEEE Trans. on Learning Technologies, vol. 6, no. 1, pp.85-96, Jan. 2013
- [15] 丁亜希, 山守一徳, ネットワーク演習ための仮想サーバ構築, 三重大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, 第34号, pp.13-18, 2014
- [16] Miguel Bazdresch, A small network simulator for learning routing fundamentals, Proc. on 2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), San Jose, CA, USA, 2018, pp.1-7, doi: 10.1109/FIE.2018.8658996
- [17] 香山瑞恵, 箕浦航, 山本翔, 不破泰, 橋本昌巳, 情報通信ネットワークにおけるプロトコルの基本概念理解のためのハンズオン教材, 教育システム情報学会研究報告, 27(2), pp.131-136, 2012情報学会誌, 35-2, pp.163-174, 2018
- [18] 吉原和明, 井口信和, 渡辺健, 物理的可視化と物理的直接操作によるIPアドレスの仕組みを学習するための教材の開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, 60-2, pp.73-80, 2018
- [19] 鈴木大助, 通信の仕組みを理解するためのロールプレイ演習の開発と実践, 情報処理学会研究報告(Web) 2017 (CE-140) Vol.2017-CE-140, No.10, 1-7 (WEB ONLY) 2017年7月1日
- [20] eville Palmer, Warren Earle, & Jomo Batola, Automating the Configuration Management and Assessment of Practical Outcomes in Computer Networking Laboratories, Intelligent Computing, 2019, Volume 857, pp.307-318
- [21] 鈴木大助, コンピュータネットワーク構築の学習における学習者から見た実機演習とシミュレータ演習の比較, 情報処理学会研究報告, 2019-CE-149, no.11, 2019
- [22] 鈴木大助, TCP/IPネットワークの理解を促進する無線パケットキャプチャ演習の開発と実践, 教育シンポジウム予稿集, 2019
- [23] D. Bjelobrck Knežević, V. Tadić and Ž. Širanović, Flipped Classroom Model for Advanced Networking Courses, 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2019, pp.600-604, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8756854
- [24] 鈴木大助, 一般情報教育におけるAmazon Web Servicesを利用したサーバ構築演習, 研究報告コンピュータと教育(CE), 2020-CE-153, 2020
- [25] 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, 電子情報通信学会教育工学研究会信学技法 121 (294), pp.1-6, 2021
- [26] 立岩佑一郎, 井口信和, 仮想化技術を用いたネットワーク演習環境, 電子情報通信学会誌, 104-8, pp.872-877, 2021
- [27] 眞鍋督, 井口信和, 柏崎礼生, 岸本和理, DDoS攻撃対策演習を可能とするネットワークセキュリティ学習支援システム, 情報処理学会第83回全国大会講演論文集 2021(1), pp.483-484, 2021-03-04, 2021
- [28] 藤井勝央, 井口信和, ネットワーク機器の内部処理の可視化を可能とするQoS制御学習支援システム, 情報処理学会第84回全国大会, 2022
- [29] 大石智広, 望月俊男, データ通信方式の特徴を科学的に理解する探究型の授業実践, 日本教育工学会論文誌, 44巻(2020)3号, pp.335-349, 2020, <https://doi.org/10.15077/jjet.44039>
- [30] Cisco Packet Tracer, <https://www.netacad.com/ja/courses/packet-tracer> (2023/02/01 閲覧)
- [31] GNS3 (General Network Simulator-3), <https://gns3.com/> (2023/02/01 閲覧)
- [32] Cisco Network Academy (CNA), <https://www.netacad.com/courses/networking/ccna-introduction-networks> (2023/02/01 閲覧)
- [33] 西嶋崇, 井口信和, 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実ネットワークとの通信機能の開発, 情報通信学会全国大会講演論文集 第72回(コンピュータと人間社会), pp.675-676, 2010
- [34] 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, 52-3, pp.1412-1423, 2011
- [35] 鈴木大助, パケットキャプチャ演習が通信の仕組みの理解にもたらす効果, 情報教育シンポジウム論文集 2018(11), pp.76-83, 2018
- [36] Yuichiro TATEIWA, LiNeS Cloud: A Web-Based Hands-On System for Network Security Classes with Intuitive and Seamless Operability and Light-Weight Responsiveness, IEICE Transactions on Information and Systems E105, D(9) pp.1557-1567 2022
- [37] F. Galán, D. Fernández, W. Fuertes, M. Gómez, and J. E. L. de Vergara, Scenario-Based Virtual Network Infrastructure Management in Research and Educational Testbeds with VNUML, Annals

of Telecomm. - Annales Des Tcommunications,
64-5/6, pp.305-323, <http://dx.doi.org/10.1007/s12243-009-0104-3>, 2009

- [38] 三好哲也, 仮想環境を用いた情報ネットワーク教育における方法と効果, 第53回 東海ファジィ研究会予稿集, 2023