

博士論文要旨

物理的表現手法による技術・情報分野の教材開発
およびその評価に関する研究

広島大学大学院教育学研究科
教育学習科学専攻 教科教育学分野
技術・情報教育学領域

D173863 吉原 和明

1 序章

今日、情報通信ネットワークは我々になくってはならないインフラとなっている。情報通信ネットワークであるインターネットの普及率は高く、総務省によると我が国におけるインターネットの人口普及率は、2013年以降80%を超えた水準を保っている [1]。また、内閣府が提唱した、我が国が目指すべき未来社会の姿として提唱した Society5.0 では、IoT(Internet of Things) であらゆる人とモノが繋がり、様々な情報が共有され、新しい価値を生み出すことにより社会的な課題を解決していくとされている [2]。Society5.0 における社会の基盤として、情報通信ネットワーク技術の発展が不可欠である。

文部科学省が発表した「Society5.0 に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～」では、アメリカや中国などに比べ、情報科学などに関する研究開発と教育が立ち遅れており、Society5.0 に向かう社会において、我が国では圧倒的に人材不足になりつつあると指摘されている [3]。現実には、平成 28 年の経済産業省による ICT 人材の最新動向と将来推計に関する調査結果では、ICT 人材は 2019 年をピークに産業人口は減少してゆき、不足規模はますます深刻になるという推計結果が出ている [4]。特に、ビッグデータや IoT、人工知能などの先端 ICT 技術と情報セキュリティの分野で人材の不足が見込まれているが、これらの分野の基盤には、情報通信ネットワークが必要不可欠であり、情報通信ネットワークの知識を持った ICT 人材の育成が急務であると言える。

情報通信ネットワークの学習は、中学校では、技術・家庭科技術分野（以下、技術科）における「D 情報に関する技術」において、「情報通信ネットワークの構成と、情報を利用するための基本的な仕組みを理解すること」となっており、また、高等学校では、情報において「情報通信ネットワークの仕組みや構成要素、プロトコルの役割及び情報セキュリティを確保するための方法や技術について理解すること」となっている。このように、中学校や高等学校においては、情報通信ネットワークの学習は必修化されている [5][6]。これらの学習には「実践的・体験的な学習活動を通して生活に基礎的・基本的な知識及び技術を身につけさせる」と示されており、情報通信ネットワークの学習においても実践的・体験的な学習を行うことが求められている。

情報通信ネットワークの実践的・体験的な学習として、情報系の大学を中心に、ネットワーク構築の演習を行っているところも多い。多くの場合は、端末やルータなどの実際に情報通信ネットワークを構成するコンピュータ機器同士を配線してネットワークを構築する演習となっている。しかし、このようなルータの設定は中学生や高校生にとっては敷居が高いと考えられる。中学校や高等学校で利用できる情報通信ネットワークを学ぶための良い教材が皆無に等しいことが、情報通信ネットワークの学習で実験や実習を行うことを難しくしていると考えられる。

一方で、情報通信ネットワークは目に見えないところで働いており、コンピュータにおける情報通信ネットワークの設定は、通常キーボードを用いて行うことが多く、データ通信の結果は、コンピュータの画面越しでしか確認ができない。それゆえ、中学生や高校生などの初学者にとっては、情報通信ネットワークの学習は敷居が高く、理解しづらいものになっている。

そこで我々は、これらの課題を解決する教材開発のコンセプトとして物理的可視化と物理的直接操作を提案する。そして、これらのコンセプトに基づいた情報通信ネットワークを直感的に学習するための新たな教材を開発し、教材の有効性の検証を行った。具体的には、情報通信ネットワークを学習

するための教材として、IP アドレスを学習するための教材の開発とその評価、情報通信ネットワークの構築を学習するためのルータ教材の開発を行った [7][8]。

2 物理的可視化と物理的直接操作

中学校技術科や高等学校情報科では、学習内容に生活や社会を支える現在の工業製品や情報システムに関する技術が含まれている。これらの工業製品や情報システムの多くはブラックボックスになっており、内部の動作原理や構造が見えなくなっている。それゆえ、技術そのものや、技術がどのように工業製品や情報システムに活用されているのかを理解するのが難しくなっている。また、技術を活用してものづくりを行う際、複雑な操作を要するものが多く、より学習を難しくしている。

中学生や高校生にとって理解しづらい目に見えない技術や、ものづくりに必要な複雑な操作をいかに容易にできるような教材を提供できるかが重要であると考え。そこで我々は、ものづくり教材の開発を行う際に重要なコンセプトとして、物理的可視化と物理的直接操作を提唱する。

一般的な可視化 (Visualization) は、人間が直接見ることのできない事象をディスプレイなどを用いて可視化することである。それに対し、物理的可視化とは、目に見えない事象を物理的な現象を用いて可視化することである。物理的な現象とは、例えば、目で直感的に理解できる LED のような光や、扇風機の羽のような回転する動き、または耳で直感的に理解できるブザーの音などであり、物理的可視化は目に見えない現象を風や光のような直感的に理解しやすい現象で、1 対 1 で対応させて表現することである。

一般的な直接操作 (Direct Manipulation) は、コマンドなどを入力することで間接的に操作するのではなく、画面上のオブジェクトをマウスなどの装置を用いて直接働きながら操作することである。物理的直接操作は、複雑な操作を、物理的なものを用いて直感的に操作することである。直感的な操作とは、例えば、手でボタンを押したりダイヤルをひねったり、ペダルを足で踏んだり、また口で吹いたりする動作であり、物理的直接操作は複雑な操作を手や足を直感的に動かす操作によって 1 対 1 で対応させることである。

物理的可視化により、理解しづらい目に見えない技術を直感的に理解することができ、さらに、物理的直接操作により、複雑な操作を直感的かつ容易に行うことができる。

3 IP アドレス学習教材

技術科の学習指導要領において、技術科の目標として「ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して基礎的・基本的な知識及び技術を習得する」ことが挙げられている。例えば、江馬らは鋳造を用いたものづくり学習のための教材「銅鏡製作」を考案した [9]。このように、多くの技術科の学習内容において、ものづくりを通じた実践的・体験的な活動を取り入れた研究事例がある。ネットワークの学習においても、ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を取り入れることが望ましい。ネットワークにおけるものづくりとは、ネットワークの構築である。学習者はネットワークの構築を通して、ネットワークの仕組みを理解することが期待できる。

ネットワークの学習教材についてコンピュータによる可視化や GUI によるマウス等を用いた直接操作 (ダイレクトマニピュレーション) を利用した開発研究は多く見られる [10][11][12]。しかし、こ

これらの学習教材は、キーボードやマウスを用い、画面上のアイコンの動きや文字でネットワークを可視化し、操作する教材である。加えて、前章で述べたように、現在のネットワークは見ることも触れることもできない。そのため、ネットワークの仕組みを初めて学習する中学生にとって、ネットワークを直感的にイメージしづらいと考えられる。

物理的可視化や物理的直接操作に類似した情報通信ネットワーク学習教材の例として、村松らは電話網教材を開発し、技術科におけるネットワークの仕組みを学習する授業実践を行った [13]。また、現行の東京書籍の技術科教科書では、トランプを用いたルータゲームを掲載しており、ルータゲームを行うことでネットワークの仕組みについて学習することができる [14]。また、中学生のみを対象としていないが、日本科学未来館では情報が伝わる仕組みをボールの流れで可視化したインターネット物理モデルが展示しており、ボールの流れを見ることでネットワークの仕組みを学習することができる [15]。これらの例は、ネットワークの仕組みを物理的な動きによって可視化し、操作する教材であるが、実際のネットワーク機器を用いておらず、電話網やトランプ、ボールなどでネットワークの動作を疑似的に表現している。そのため、学習者がネットワークの仕組みとして理解するには、頭の中でネットワークの仕組みに置き換える必要がある。

そこで、我々の提案する物理的可視化や物理的直接操作を基に教材を作成することにより、学習者が通信の確認を物理的な現象によってでき、ネットワークの構築を直感的に操作することで行うことができる。これにより学習者はネットワークを直感的にイメージし、ネットワークを構築する実験を行うことができる。

開発した IP アドレス学習教材では、物理的可視化の手段の中から LED の光を用い、また、様々な物理的直接操作の手段の中からボタンとダイヤルで物理的直接操作を行うことのできる実物のネットワークを構築できる教材の開発を行った。

開発した教材は、シングルボードコンピュータである Raspberry Pi に実装した [16]。Raspberry Pi は OS を搭載しており、LAN ポートがあるため LAN ケーブルを配線することでネットワークを構築することができる。また、40 ピンの拡張コネクタが搭載されており、Raspberry Pi から物理的可視化や物理的直接操作に必要な電子部品の入出力を制御することができる。Raspberry Pi の OS は Linux ベースの Raspbian であり、開発に使用したプログラム言語は、Python である。物理的可視化や物理的直接操作を行うためのインタフェース部分は、Raspberry Pi 用のユニバーサル基板で実装した。教材を図 [?] に示す。

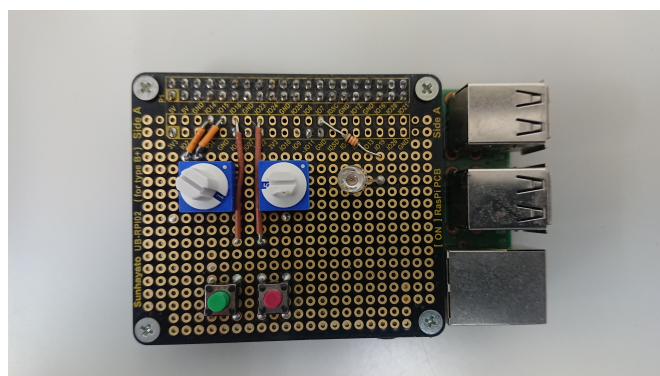


図 1 IP アドレス学習教材

IP アドレス学習教材は IP アドレスをダイヤルを回すことで指定することができ、左側の config ボタンを押すことにより、指定した IP アドレスを自機に設定することができる。また、右側の ping ボタンを押すことにより指定した IP アドレス宛に通信の疎通の確認を行う ping を送信する。ping を受信した IP アドレス学習教材はインタフェース上の LED が点灯することにより、通信の確認を行うことができる。

開発した IP アドレス学習教材を評価するために、教材を用いたネットワーク学習授業を設計し、授業実践を、2016 年 6 月 28 日と 7 月 11 日に広島大学附属東雲中学校 1 年生を対象に行った。そして、実施して得られた結果を基に教材の評価を行った。

開発した教材を用いた授業は、技術科「D 情報に関する技術」におけるネットワークの学習の 2 時間目「ネットワークの構築」として計画した。ネットワークの学習は計 2 時間で構成されており、1 時間目では、ネットワークの構成や利用方法について学習し、2 時間目では、ネットワークの仕組みを、教材を用いてネットワークの構築体験をしながら学習した。授業は情報端末室で行い、実験群と統制群の 2 グループを設け、実験群では教材を用いた授業を実施し、統制群では教材を用いない授業を実施した。

評価には、それぞれの群で 8 点満点の事前、事後テストを実施し、実験群には教材に関するアンケートを行い、検証を行った。事前テストは授業前に実施し、事後テストは授業後、休憩時間を挟んだ後に実施した。事前テスト・事後テストの結果のそれぞれの群の平均得点と標準偏差を表 1 に記載する。

学習者のテスト結果に関する 2 要因混合計画の分散分析（参加者間要因：学習者 [実験群，統制群] × 参加者内要因：テスト [事前テスト，事後テスト]）を行った。分散分析の結果では、交互作用は有意 ($F(1,75) = 6.53, p < .05$) にみられた。交互作用が有意にみられたので、各要因における単純主効果を検討したところ、実験群における参加者内要因の単純主効果 ($F(1,75) = 72.413, p < .001$) が認められ、統制群における参加者内要因の単純主効果 ($F(1,75) = 23.976, p < .001$) が認められた。また、事前テストにおける参加者間要因の単純主効果 ($F(1,150) = 0.1, ns$) は認められず、事後テストにおける参加者間要因の単純主効果 ($F(1,150) = 11.392, p < .001$) が認められ、事後テストにおいて統制群よりも実験群の方がより有意に高い結果となった。統制群よりも実験群の方が事後テストにおいてより高い得点をとったことが示され、教材が有効に機能したと考えることができる。

次に、アンケート結果を図 2 に記す。このように、生徒たちの多くが、本教材を用いたネットワーク構築体験を通して、物理的可視化や物理的直接操作により情報通信ネットワークを直感的に理解することができ、ネットワークの仕組みや構築に関して興味を持ったことが示された。以上のことから、本教材はネットワーク学習を行う教材として有効であることが確認できた。

表 1 事前・事後テストの両群における結果

	事前テスト		事後テスト	
	M	SD	M	SD
実験群	3.71	2.40	7.05	1.37
統制群	3.56	2.40	5.48	2.21

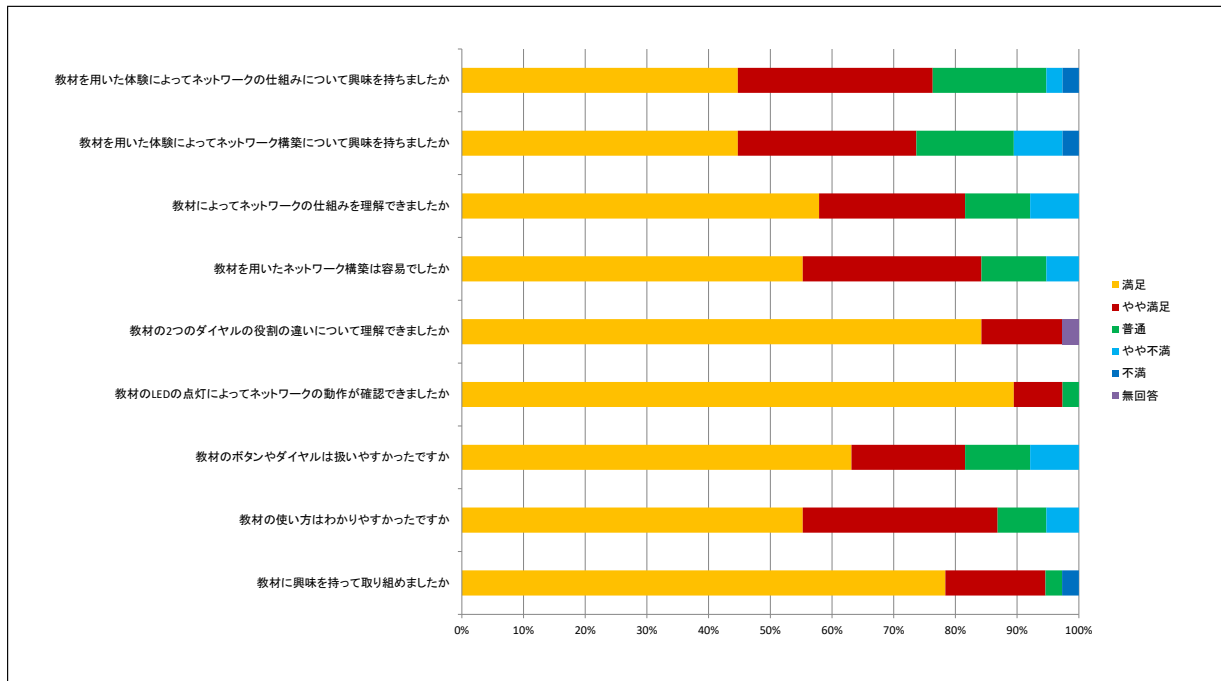


図2 アンケート結果

4 ルータ教材

前章で開発した IP アドレス学習教材は、現在インターネットで用いられているプロトコル TCP/IP において重要な技術である IP アドレスについて学習する教材であった。IP アドレス学習教材を用いた実験では、同一ネットワーク内の通信における IP アドレスの設定や通信の確認を行った。しかしながら、インターネットでは、複数のネットワーク間で通信を行っており、どのように端末同士が通信しているかを学習することができない。より現実に即したネットワークの仕組みを理解するには、複数のネットワーク間で通信するのに必要なルータの役割を学習する必要がある。中学校技術科や高等学校情報科の学習指導要領においても、ルータの働きや役割を理解させるようにと記されている。

そこで、既に開発した物理的可視化と物理的直接操作を取り入れた IP アドレス学習教材を拡張し、同様のコンセプトをもとに複数のネットワーク間の通信の仕組みを学習する教材としてルータ教材の開発を行った。そして、開発したルータ教材が教材として有効に機能するかどうか検証実験を行った。

実践的・体験的な情報通信ネットワークの構築を行う教材には、実際の TCP/IP を用いて通信を行い、複数のネットワークインターフェースやルータの機能を持つコンピュータ機器を用いる必要がある。また、物理的可視化や物理的直接操作が行えるように、電子部品を用いて電子回路を作成できる機器であるのが望ましい。

そこで、ルータ教材には、先行研究で開発した IP アドレス学習教材と同様に、シングルボードコンピュータである Raspberry Pi で開発を行った。ルータには複数のネットワークインターフェース

が必要であるが、既に開発した IP アドレス学習教材では、ネットワークインターフェースは 1 つしかないため、複数のネットワークを構築することができない。ルータ教材では、LAN アダプタを USB ポートに接続することで、ネットワークインターフェースを 2 つ (eth0 と eth1) 用意し、複数のネットワークを構築することが可能になる。

直感的に情報通信ネットワークの設定や情報通信の確認を行うため、情報通信ネットワークのデータ通信の物理的可視化のための機器には IP アドレス学習教材で用いた LED とは異なり、光の流れを表現することのできるフルカラーシリアル LED テープ (以下、LED テープ) を用い、物理的直接操作のための機器には IP アドレス学習教材と同様にダイヤルとボタンを用いた。開発した教材を図 3 に示す。

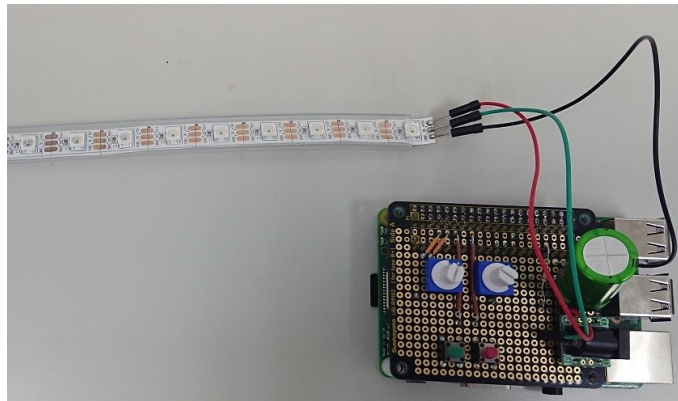


図 3 開発したルータ教材

実験は情報通信ネットワークについて学習済みである大学院生 1 名を対象に行い、実験後に教材を用いた実験に関してインタビューを行い、教材としての機能の評価を行った。

実験は、まず、教材の詳細を説明し、ネットワーク構築のために必要なネットワーク構成図を考えさせた。そして、考えた構成図をもとに LAN ケーブルを用いて物理的配線を行なわせた。それから、考えた構成図をもとにダイヤルとボタンを用いた論理的な設定を正しく行わせ、traceroute ボタンを押すとフルカラーシリアル LED テープが送信側の端末から受信側の端末に流れるように光ることで、通信の物理的可視化による確認を行わせた。その後、間違った設定を行って確認する実験を行わせた。被験者は、LAN ケーブルの物理的配線を入れ替えて traceroute ボタンを押しても LED は光らないことを確認し、さらに、論理的な設定を間違えた例にした場合など、何度かネットワーク構築実験を行った。

実験全体に関する質問では、「ネットワークの構築を容易に行うにすることができ、興味を持って実験に取り組めた」との回答を得た。ネットワークの構築の難易度に関する質問では、「物理的な配線も簡単に行うことができた。ダイヤルやボタンの意味さえ分かれば IP アドレスを簡単に設定することができた。」との回答を得た。LED テープによる物理的可視化に関する質問では、「従来では、スクリーンを見て通信ができていないか確認を行うが、LED テープを見るだけで、直感的に通信ができていないことが確認できるのが良かった。論理的なネットワーク構築の可視化においては、色によるネットワークの違いは分かりやすかったが、ホストアドレスによる群による可視化は直感的には理解しづらかった。」との回答を得た。ダイヤルによる論理的なアドレス設定に関する質問では、

「ifconfig や ping などのコマンドを知らなくてもボタンを押すだけで通信の設定や確認が行えることが良かった。また、従来の IP アドレスの設定とは異なり、0~9 までの 10 通りのみでシンプルにネットワークアドレスとホストアドレスを指定することができ、設定しやすかった。また、玩具で遊ぶような感覚で設定できるのも良かった。」との回答を得た。実験を通して情報通信ネットワークや TCP/IP に興味を持たせたかどうかについての質問では、「様々なネットワークの構築が何度も容易に行えるので、このような設定ならどうなるだろうと様々な考察をしながら興味を持って進んで実験して確認することができた。」との回答を得た。

これらの実験インタビュー結果により、本研究で開発したルータ教材が、LED テープの光の軌跡による物理的可視化やダイヤルやボタンを用いた物理的直接操作によって直感的に情報通信ネットワークを理解できる教材として有効に機能することが確認できた。しかしながら、ホストアドレスの LED 群による物理的可視化などが理解しづらいなどの問題点も明らかになった。

5 終章

本論文では「物理的表現手法による技術・情報分野の教材開発およびその評価に関する研究」をテーマとして、物理的可視化と物理的直接操作をコンセプトに技術・情報分野における情報通信ネットワークを学習するための教材開発の研究として IP アドレス学習教材の開発とその評価と、ネットワーク構築を学習するためのルータ教材の開発を行った。開発した教材を用いた授業実践や実験を通して、情報通信ネットワークの物理的可視化が目に見えない情報通信ネットワークの働きが直感的に理解できるようになり、物理的直接操作により通常の操作するよりも容易に何度も行うことができ、教材として有効に機能することが確認できた。

本論文で述べた開発した 2 つの教材は、IP アドレスの仕組みを学習する教材とルータの役割を学習する教材である。しかしながら、ネットワークを支える技術は、IP アドレスやルータだけにとどまらず、多岐にわたっており、例えば経路制御など、様々な技術が利用されており、情報通信ネットワークを学習するためには、多くの内容を学習する必要がある。今後は、今までの学習内容に加え、様々な物理的表現手法を用いた情報通信ネットワークに関する学習教材を開発し、情報通信ネットワークの技術をより体系的に学習できるような学習モデルへ発展させて行くことが課題である。

また、物理的可視化や物理的直接操作は、第 2 章で述べたように、様々な技術科や情報科の内容において教材作成のコンセプトとして有用であると考えられる。そして、技術科や情報科では、多くの分野にわたる学習内容が含まれている。今後は、ネットワークだけではなく、他の学習内容においても物理的可視化と物理的直接操作のコンセプトを基に教材開発をしていき、教材を評価することによって物理的可視化や物理的直接操作の有用性を検証していく必要がある。

参考文献

- [1] 総務省：通信利用動向調査，http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/180525_1.pdf（2020 年 1 月 7 日アクセス）
- [2] 内閣府：Society5.0，<https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html（2020 年 1 月 7 日アクセス）

- [3] 文部科学省：Society5.0 に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～，
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf (2020年1月7日アクセス)
- [4] 経済産業省：IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果，https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY/ITjinzai_report_summary.pdf(2020年1月7日アクセス)
- [5] 文部科学省(2018)：中学校学習指導要領(平成29年告示)解説技術・家庭編，開隆堂出版
- [6] 文部科学省(2019)：高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説情報編，開隆堂出版
- [7] 吉原和明・井口信和・渡辺健次：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第60巻第2号，pp.73-80(2018)
- [8] 吉原和明：物理的可視化と物理的直接操作によるネットワーク構築を学習するためのルータ教材の開発，広島大学大学院教育学研究科紀要第二部(文化教育開発関連領域)第68号，2019年12月採択済
- [9] 江馬諭・木村泰樹：ものづくり学習のための教材「銅鏡製作」について，日本産業技術教育学会誌，第47巻，第1号，pp.31-37(2005)
- [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] 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ネットワーク処理可視化教育システムの開発，情報処理学会研究報告コンピュータと教育，pp.7-14(2012)
- [12] 荒井正之・田村尚也・渡辺博芳・他：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，第44巻，第12号，pp.3242-3251(2003)
- [13] 村松浩幸・本多満正・坂口謙一・他：中学校技術科でのネットワーク学習における電話網の教材化，日本教育工学会論文誌，第28巻，suppl.号，pp.237-240(2005)
- [14] 田口浩継・他：新しい技術・家庭技術分野：東京書籍，p.205(2016)
- [15] 日本科学未来館：インターネット物理モデル，<http://www.miraikan.jst.go.jp/exhibition/future/information/internet.html> (2020年1月7日アクセス)
- [16] RASPBERRY PI FOUNDATION：Raspberry Pi，<https://www.raspberrypi.org/> (2020年1月7日アクセス)