

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

吉原和明¹
(2019年10月3日受理)

Development of an Educational Equipment of a Network Router for Network Construction Based on the Concept of Physical Visualizations and Physical Direct Manipulations

Kazuaki Yoshihara

Abstract: Studying networking technologies have become one of the most important subjects in the field of technology in junior high schools and information study of senior high schools in Japan. A problem with studying networking technologies is that there are few intuitive educational equipment for these studies. In addition, network systems have become an infrastructure of society. It is difficult for students to imagine network systems and technologies because they cannot see how networks work. The new educational equipment of a network router for network construction based on the concepts of physical visualizations and physical direct manipulations has been developed. The equipment can visualize how networks work using a Full Color Serial LED tape. Additionally, the equipment provides function of physical direct manipulation using dials and buttons. The experiments were conducted using the equipment and confirmed that the equipment works effectively for network learning.

Key words: Networking study, Physical visualization, Physical direct manipulation, Router
キーワード：ネットワーク学習教材, 物理的可視化, 物理的直接操作, ルータ

1. はじめに

今日、情報通信ネットワークは我々になく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⁾。Society 5.0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、

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：渡辺健次（主任指導教員）、田中秀幸、長松正康、藤中 透

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・家庭科技術分野における D:情報の技術において、「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 I 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、キーボードを用いて行い、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。よって、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。

吉原⁷⁾は、情報通信ネットワークをより理解しやすいように、物理的可視化と物理的直接操作というコンセプトを提唱している。物理的可視化とは、コンピュータのモニター上に表示する通常的可視化とは異なり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など、物理的な物を用いて可視化を行うことを意味し、物理的直接操作は、ダイヤルやボタンなど物理的な物を操作することを意味している。そして、これらのコンセプトのもと IP アドレス学習教材が開発され、中学生を対象に実践授業が行われ教材の効果を確かめられた。

しかしながら、情報通信ネットワークの仕組みを理解するためには、IP アドレスだけではなく様々な

情報通信技術を理解する必要がある。IP アドレス学習教材は、2 台の端末間のみでのネットワークを扱う教材であり、複数のネットワーク間で通信を行うインターネットでは、どのように端末同士が通信しているかを学習することはできない。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を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。

本研究では、既に関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⁷⁾を拡張し、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、ルータ教材として有効に機能するかどうか検証実験を行った。

2. ルータ

コンピュータ同士が通信を行うには、お互いが同じ通信手順に従って通信をする必要がある。この従うべき通信手順を通信プロトコルといい、国際標準化機構が策定した OSI 参照モデルやインターネットで使用されている TCP/IP などがある。これらのプロトコルは実装時、役割に応じていくつかの層が積み重なった形で構成されている。

TCP/IP では、ネットワークケーブルの物理的な仕様や隣接する機器のデータ通信方法の規格を示すネットワークインターフェース層、論理的なネットワーク構成及び経路を示すネットワーク層、通信の性質を定めたトランスポート層、アプリケーションのデータのやり取りの規格を示したアプリケーション層がある。TCP/IP を利用して通信を行うことで、世界中の離れたコンピュータ同士が一瞬で接続し、通信を行うことができる。

インターネットは、世界中にある LAN とよばれる狭い範囲におけるネットワーク同士が相互に接続した巨大なネットワーク網である。ひとつの LAN の中では端末同士が直接通信できるが、異なる離れた LAN にある端末とは通信することができない。複数の LAN を経由して通信を行うには、通信を中継するための機器であるルータが必要である。ルータは、ネットワーク層の機能を提供しており、離れたコンピュータ同士がお互いに通信し合うインターネットにおいて、必要不可欠な機器であり、情報通信ネットワークを学習するには物理的な通信媒体である物理層及びデータリンク層の端末の接続だけではなくネットワーク層のルータについての学習も必要である。

ルータは、端末と異なり二つ以上のネットワークインターフェースを持っている。異なるネットワーク間

で通信を行う場合、それぞれのネットワークにある端末とルータのネットワークインターフェースを正しくLANケーブルで接続する必要がある。さらに、それぞれのネットワークインターフェースに正しくIPアドレスを設定することで、ルータが異なるネットワークにデータの中継を行うことができ、異なるネットワークにある端末が通信を行うことが可能になる。つまり、ルータの設定には、LANケーブルで配線する物理的なデータリンク層や物理層の設定からIPアドレスを付与する論理的なネットワーク層の設定を行う必要があり、それら両方を理解する必要がある。

異なるネットワーク同士の通信を行うためのルータ機能の学習に関する教材はいくつか研究開発されている。精鷹らは、画面上に描画し、設定した模擬ネットワークをシミュレーションすることにより検証することのできる教育向けネットワークシミュレータを開発した⁸⁾。また、井口らは、自由に仮想的なルータなどの情報通信機器を画面上に配置し、ルータの設定をすることで仮想ネットワークを構築することのできるシステムを開発した⁹⁾。これらのシステムは仮想的に機器同士を接続し、ルータの設定を行うことでネットワークを構築し、画面上で情報通信ネットワークを可視化するものであるため、ルータを用いたネットワーク層の論理的な設定などを学習することができるが、データリンク層や物理層の物理的な配線を体験的に学習することが出来ず、中学生や高校生には理解するのは難しいと考えられる。中学校技術科におけるルータの学習教材としては、本多らがルータを中心にデータの送受信を人間が模倣する体験型教材「人間ルータゲーム」を開発した¹⁰⁾。これは、人間がルータや端末を模擬的に演じており、実機を用いたデータリンク層や物理層の物理的な配線やネットワーク層の論理的なネットワークの設定などを行わないため、ルータを用いたネットワークの構築を体験的に学習することができない。

本研究では、物理的可視化と物理的直接操作によるネットワーク学習教材としてルータ教材を開発した。吉原ら⁷⁾が考案した物理的可視化と物理的直接操作では、情報通信ネットワークを物理的な現象で可視化し、物理的な物を操作し情報通信ネットワークの論理的な設定ができるようにするものである⁷⁾。実際にネットワークを構築することのできるコンピュータ機器を用いて、物理的に配線し、ネットワークを構築することができ、また、ルータの役割を画面上やカードなどではなく、直感的に理解しやすいLEDの光を用いて物理的に可視化を行うことができる。情報通信ネットワークの設定をキーボード操作で行うのではな

く、ダイヤルやボタンといった単純な操作で実現できるため、論理的な通信の設定を行うことができ、試行錯誤しながらネットワークの構築を行い、ネットワークインターフェース層とネットワーク層について実践的・体験的に学習することができる。

3. ルータ教材の概要

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。Raspberry PiはLinux系のOSであるRaspbianを搭載することができ、インターネットでも利用されている情報通信プロトコルであるTCP/IPを用いた通信が可能である。また、汎用入出力ピンを搭載しており、様々な電子部品とピンを繋いで回路を作成することで、電子部品を制御することができる。

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

表1 ルータ教材の開発環境

分類	詳細
コンピュータ	Raspberry Pi
OS	Raspbian
開発言語	Python
物理的可視化機器	LED テープ
物理的直接操作機器	DIP ロータリースイッチ タクトスイッチ

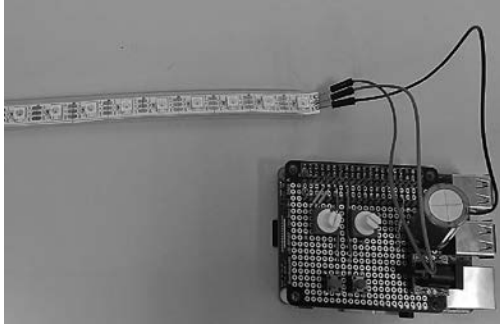


図1 開発したルータ教材

を用いた。教材の開発環境を表1に示し、開発した教材を図1に示す。

開発したルータ教材は、通常のネットワーク機器であるルータと同等の異なるネットワークにパケットを転送する機能を持ち、さらに以下のような機能を持っている。

- DIP ロータリースイッチと ifconfig ボタンを用いて、IP アドレスを設定する機能
- DIP ロータリースイッチと traceroute ボタンを用いて、指定した IP アドレス宛に経路順に ping を送信し経路を確認する機能
- フルカラーシリアル LED を用いて、ICMP パケットを受け取ったら自機の IP アドレスを LED の群と色で表現し、流れるように光る機能

これらについての詳細は、第4節で説明する。

4. 物理的 direct 操作および物理的可視化の実装

4.1 ダイアルによる IP アドレスの設定

IP アドレスの設定は、通常のコンピュータ機器では、キーボードで専用のコマンドを用いて入力する。物理的 direct 操作では、専用のコマンドやキーボードを用いず、物を操作して IP アドレスを指定する。開発した教材では、IP アドレスの設定に2つの DIP ロータリースイッチを用いた。基板上の2つの DIP ロータリースイッチを操作し、IP アドレスを指定するようにした。DIP ロータリースイッチは、2つの C ピンと 1, 2, 4, 8 の4つのピンの計6つのピンがあり、ダイヤルを 0~9 の各数字のポジションに合わせることで、それぞれのポジションに対応した C ピンと4つのピンが導通するようになっている。

DIP ロータリースイッチと Raspberry Pi の汎用入出力ピンを接続することで、汎用入出力ピンの入力情報によりダイヤルがどの数値のポジションにあるかを

Raspberry Pi がプログラムにより判断することができる。そしてそれぞれのピン番号の ON/OFF 情報を元に、それぞれ足し合わせると、ポジションの値を得ることができる。

IP アドレスの設定には、回路上にある ifconfig ボタンを押すことによって、ネットワーク環境の状態確認や設定のために用いる ifconfig コマンドを、コールバック関数を用いて実行する。

既に開発した IP アドレス学習教材では、自機の IP アドレスを2つのダイヤルを用いて指定し ifconfig ボタンを押すことで設定できる。ネットワークアドレス側（左側）のダイヤルを 1、ホストアドレス側（右側）のダイヤルを 5 にすると、指定される IP アドレスは 192.168.1.5/24 となる。IP アドレスの設定には、ネットワーク環境の状態確認や設定のために用いる ifconfig コマンドを、Python の os モジュールを用いてプログラム上で実行する⁷⁾。

開発したルータ教材にある2つのネットワークインターフェースには、それぞれのデバイスに IP アドレスを指定する必要がある。そこで、ルータ教材の2つのダイヤルは、2つあるネットワークインターフェースのホストアドレスは固定し、それぞれのネットワークアドレスをダイヤルで指定するようにした。左側のダイヤルを 1、右側のダイヤルを 5 にして ifconfig ボタンを押すと、eth0 の IP アドレスを 192.168.1.254/24 に eth1 の IP アドレスを 192.168.5.254/24 に設定する。

4.2 LED テープの制御

物理的可視化とは、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など、物理的な物を用いる可視化である。情報通信ネットワークの物理的可視化では、コンピュータ同士の間でデータがやりとりされている様子が直感的に理解できるような物理的可視化を行う必要がある。そこで、本教材では LED テープを用いた。フルカラーシリアル LED テープは、フルカラー LED が図2のようにテープ状にシリアルに連なっている LED テープである。LED テープは VCC、GND、PWM 入力信号の3つの端子があり、VCC と GND 端子を外部電源に繋ぎ、PWM 入力信号用の端子を Raspberry Pi の汎用入出力ピンに接続することにより、制御することができる。GRB の順に各色 8bit で 1 モジュール当たり 24bit の



図2 LED テープ

データを決められたタイミングで信号を入力することでデータを送信する。連結して使用する場合、Raspberry Pi から近い側のモジュールのデータから送信し、50 μ s 以上 LOW が続いた場合、全モジュールでデータが確定し、LED への出力へ反映される。Raspberry Pi で使用する場合、LED テープを制御するためのライブラリ “rpi_ws281x” を利用することで、制御することができる¹¹⁾。

LED テープは、複数の LED を同時に制御できるので、光の軌跡などの流れが表現できる。光の流れを表現することで、どのように送信先の端末までデータが流れているかを表現することができる。

4.3 フルカラーシリアル LED テープを用いた光の軌跡によるデータの流れの物理的可視化

経路の確認機能には traceroute コマンドの原理を利用した。

IP パケットには、パケットがループし続ける状態を防ぐために、生存時間が決められている。それぞれの IP パケットには TTL (Time to Live) が割り当てられ、パケットがルータを通過するたびに 1 ずつ減らされていき、0 になると IP データグラムが破棄される。このときルータは、ICMP 時間超過メッセージ (ICMP Time Exceeded Message) を送信側に送り、パケットが破棄されたことを知らせる。このメッセージを応用したコマンドが traceroute コマンドであり、受信ホストまでの IP パケットの生存時間を 1 から順番に増やしていき、ICMP 時間超過メッセージを受け取ることで、送信ホストから受信ホストまで、どのルータを経由したのかを表示するコマンドである。

ルータ教材および既存の IP アドレス学習教材では、基板上の traceroute ボタンを押すことで、ダイヤルで指定した IP アドレス宛に UDP パケットの TTL の値を 1 から 1 ずつ増やしながら送信して、ICMP 時間超過メッセージの送信アドレスを受け取るようにした。そして、受け取った IP アドレス宛に ping コマンドの実行を行った。ping コマンドの実行は、ifconfig コマンド同様、Python の os モジュールを用いてプログラム上で実行するようにした。

また、ルータ教材および IP アドレス学習教材は ICMP パケットを受信したときに、LED テープを光の軌跡が自機の方向に流れるように制御する。受信端末教材とルータ機器の LED テープを送信側に向け、IP アドレス学習教材側がダイヤルを通信相手の端末の IP アドレスを指定し traceroute ボタンを押すと、traceroute 機能により、通った経路順に ping を送信する。そして、ping を受け取った端末やルータ

は、ルータ、端末の順に自機の方向に LED テープが光るため、送信した端末から受信した端末の方向へフルカラーシリアル LED の光の軌跡で表現することができる。これにより、どのような経路でコンピュータが目的の IP アドレスのコンピュータにデータが転送されていったのかを、LED テープの光の流れによって知ることができる。ただし、受信端末教材と送信端末教材を入れ替える場合、LED テープを逆側 (送信側) に配置する必要がある。例として、IP アドレス学習教材 2 台とルータ教材 1 台を用いた場合の制御の流れを以下に示し、制御の流れを図解したものを図 3 に示す。

- ① 図 3 の IP アドレス学習教材 1 のダイヤルを IP アドレス学習教材 2 宛にし、traceroute ボタンを押す
- ② traceroute 機能によりルータ教材に ping を送信
- ③ ルータ教材の LED テープが IP アドレス学習教材 1 から自機の方向に流れるように光る
- ④ IP アドレス学習教材 2 に ping を送信
- ⑤ IP アドレス学習教材 2 の LED テープがルータ教材から自機の方向に流れるように光る

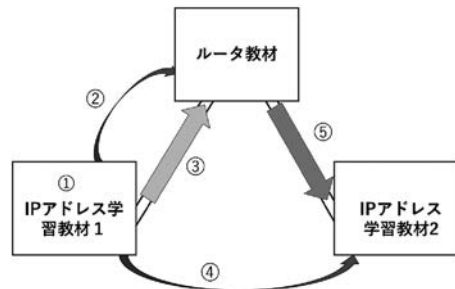


図 3 教材による LED テープ制御の流れ

4.4 LED テープの色と群の数による IP アドレスの物理的可視化

4.3 節で述べた LED テープを用いたデータの流れの物理的可視化では、ただ光の軌跡を表現するだけではなく、光の軌跡でどの IP アドレス宛に ping が送られているかを表現する IP アドレスの物理的可視化を行った。すなわち、ping を受信した端末は自機の IP アドレスのネットワーク部を表 2 のように異なる色によって表現し、ホスト部を表 3 のように流れる LED 群の数の違いによって表現した。これにより、論理的な IP アドレスの物理的可視化を行うことができる。

4.5 ルータの構築

Raspberry Pi は初期設定のままでは、ルータとし

て異なるネットワークにデータを転送することはできない。Raspberry Piをルータとして用いるためには“/etc/sysctl.conf”に“net.ipv4.ip_forward=1”の記

表2 ネットワーク部による色の違い

ネットワーク部 (/24)	色
192.168.0.*	天色
192.168.1.*	赤色
192.168.2.*	緑色
192.168.3.*	青色
192.168.4.*	黄色
192.168.5.*	紫色
192.168.6.*	水色
192.168.7.*	白色
192.168.8.*	黄緑色
192.168.9.*	桃色

表3 ホスト部におけるLED群の数

ホスト部 (/24)	LED群の数
..*.0	無
..*.1	1
..*.2	2
..*.3	3
..*.4	4
..*.5	5
..*.6	6
..*.7	7
..*.8	8
..*.9	9
..*.254	10

述を追加することで、IPパケットを異なるネットワークに転送できるようになり、ルータとして用いることができる。

また、これだけではコンピュータがどのコンピュータにデータを転送すべきかが分からない。ルータや端末は経路表を参考にし、転送先のコンピュータを判断しデータを転送する経路制御を行っている。本教材では、複雑な経路を設定する必要がないため、経路の確定に一定の時間のかかる動的経路制御ではなく、静的に経路制御することにした。IPアドレスをifconfigボタンで設定する際に、IPアドレスのネットワーク部を参照し、静的に経路表を変更するようにプログラムした。ルータ教材の回路図を図4に示す。

5. ルータ教材を用いた実験

開発した教材を用いて大学院生を対象に予備的な実験を行い、教材の教育的効果の検証を行った。

5.1 実験の概要

実験は端末教材2台とルータ教材1台を用いて行った。計画した実験の流れは以下のとおりである。

- (1)異なる2つのネットワークでルータ教材を経由して端末同士が通信するために物理的及び論理的にどのように設定をするか構成図を決定する。
- (2)決定したネットワーク図をもとに教材同士をLANケーブルで物理的に接続し、送信端末側に

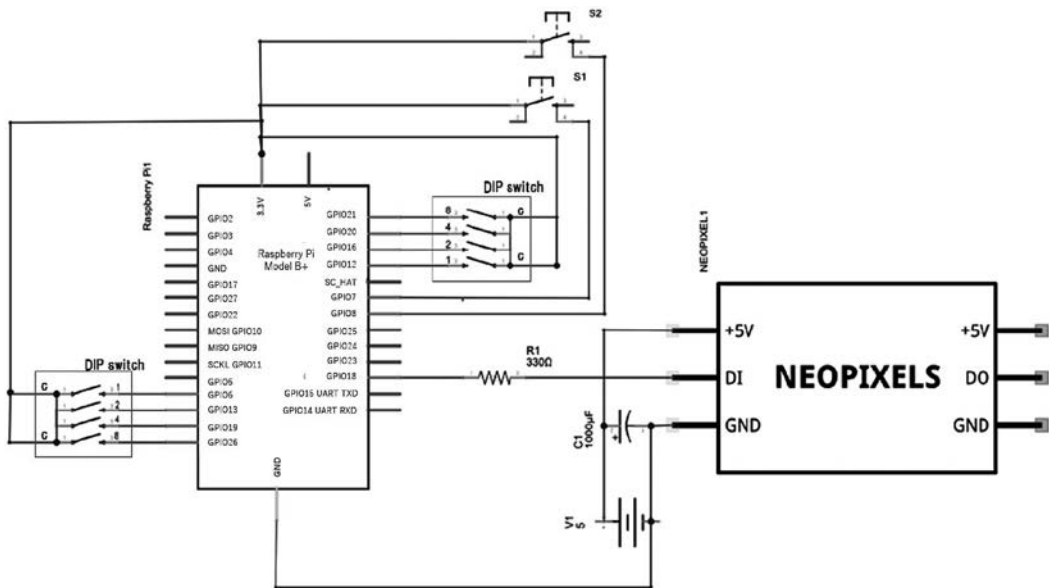


図4 ルータ教材の回路図

ルータのLEDテープを配置する。

- (3) IP アドレスの論理的な設定を各教材のボタンとダイヤルで設定し, traceroute ボタンでLEDテープの光の軌跡で通信を見ることで, 物理的及び論理的に正しく設定できていることを確認する。
- (4) 間違ったLANケーブルの配線や, 論理的な設定をすると traceroute ボタンを押してもLEDが光らないことを確認する。

(1) において想定されるネットワークの簡易的な構成図は図5のようになる。また, 実験に用いる2台の端末教材は同じ教材であり, ifconfig ボタンで正しく設定を行えば入れ替わっても問題なく動作する。

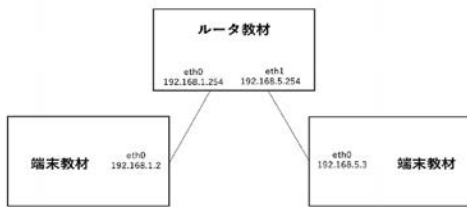


図5 実験時のネットワーク構成図の例



図6 実験の様子

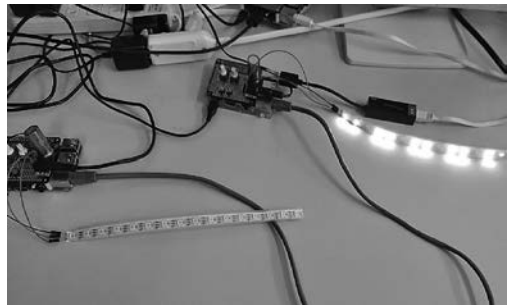


図7 LEDテープが光る様子

5.2 実験結果

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(前節で記述した実験の流れの(1))。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(実験の流れ(2))。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(実験の流れ(3))。その後, 間違った設定を行って確認する実験を行わせた(実験の流れ(4))。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っ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。ネットワーク構築実験の様子を図6, traceroute ボタンを押し, LEDテープが光る様子を図7に示す。

実験後, 実験に参加した大学院生に教材に関してインタビューを行った。インタビューの結果を以下に記述する。

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に興味を持て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。

6. おわりに

本研究では、物理的可視化や物理的直接操作による情報通信ネットワークを学習するためのルータ教材を開発し、教材の機能を確認した。本教材は、現状では見ることのできない情報通信ネットワークをLED テープの光の軌跡で物理的に可視化し、ダイヤルとボタンを用いた操作でIPアドレスの設定を何度も行い確認することができる。教材を用いた実験を通して、直感的に情報通信ネットワークの機能や動作を理解することができ、情報通信ネットワークを実践的・体験的に学習することが確認できた。

今後は、明らかになった問題点を改良し、本教材を用いた授業案を考案し、中学校や高等学校で授業実践を行うことで、本教材の学習の有効性を評価したいと考えている。

また、本教材では、ネットワーク層の学習内容として、異なるネットワーク間のルータの役割とルータのIPアドレスの設定のみとなっている。しかしながら、ルータによる経路制御など、他にも学習すべき機能がある。今後は、今までの学習内容に加え、ルータによる経路制御を学習するための物理的可視化と物理的直接操作による教材を開発し、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。

【謝辞】

本研究の教材開発に大きな寄与を頂いた広島大学教育学部入田雄基氏(現、広島市役所)に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 総務省(2018): 通信利用動向調査, “http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/180525_1.pdf” (2019年6月29日アクセス)
- 2) 内閣府(2018): Society5.0, “https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html” (2019年6月29日アクセス)
- 3) 文部科学省(2018): 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” (2019年6月29日アクセス)
- 4) 経済産業省(2016): 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” (2019年6月29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(2018): 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
- 8) 精鷹幹人, 木村昌史(2003): 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65回全国大会 pp.273-274
- 9) 井口信和(2011): 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第52巻第3号 pp.1412-1423
- 10) 本多満正 水谷浩紀 菅家久貴(2008): 中学校技術科における情報通信ネットワークの仕組みの教材化とその評価, 日本教材学会教材学研究19, pp.195-202
- 11) Adafruit(2014): NeoPixels on Raspberry Pi, “<https://learn.adafruit.com/neopixels-on-raspberry-pi/overview>” (2019年6月29日アクセス)