

無線通信理解のための可視化ツールの開発と評価

長谷川 健太^{*1}, アサノ デービッド^{*2}, 不破 泰^{*3}

^{*1} 信州大学大学院, ^{*2} 信州大学, ^{*3} 信州大学総合情報センター

Development and Assessment of a Visual Tool to Aid Understanding of Wireless Communication

Kenta Hasegawa^{*1}, David Asano^{*2}, Yasushi Fuwa^{*3}

^{*1} Shinshu University, Graduate School, ^{*2} Shinshu University, ^{*3} Integrated Information Center, Shinshu University

IoT 需要の高まりから、無線通信技術者育成の重要性が増している。しかし、無線通信を実験や座学で学ぶことは電波が見えないため、理解することが困難である。そこで我々は、端末から定期的に中継機を介してサーバに情報を送信するセンサーネットワークにおける中継機とサーバを無線通信モジュールと LED 等の表示器を備えた小型通信システムを用いてモデル化し、無線通信を学習できる教材を開発した。小型通信システムは各機器の通信状況を LED の点滅を利用することで表示し、電波の可視化を実現した。また、無線技術についてのカリキュラムに、中継機間のルーティングを扱い、そこで行われる様々な工夫を実際に動作させ確認しながら学べる機能を持つ。また、実際にこの教材を、高校生を対象に行われたセミナーで使用したところ、電波の性質とルーティングの工夫について座学だけで学ぶよりもより理解できたと概ね良好な結果を得ることができた。

キーワード: 無線通信, 学習支援, 教育, プロトコル, IoT, Arduino, XBee

1. はじめに

近年, ICT (Information and Communication Technology) の発展に伴い, IoT (Internet of Things) の需要が高まりを見せている。この技術を活用して, 現在様々なサービス, 商品などが提供されている。活用例の一つに, 長野県塩尻市で地域児童の登下校時の安全確保を目的として運用されている, 地域見守りシステム(1)がある。

IoT には重要とされる技術がいくつかあるが, それら技術のうちの一つに無線通信技術があり, この技術を扱える技術者育成の重要性が増している。しかし, 無線技術を座学や実験を通して学ぶことは, 実際に使われている電波を目視できないため, 学習者にとって理解することが難しい技術の一つであることは明らかである。また, 無線通信技術者は無線通信を使って様々なサービスなどを提供するにあたり, 無線通信を使っ

た仕組み, すなわちプロトコルの開発についての知識も有する必要がある。そのため, 無線通信技術者育成のため, 学習者にとって理解しやすく, 有用な学習教材が必要であると考ええる。

このような背景に基づき, 端末から定期的に中継機を介してサーバに情報を送信するセンサーネットワークにおける, 中継機とサーバをモデルする小型通信システムを開発し, 電波の性質について理解できるような教材を開発した。また, このシステムを用いて中継機間でのルーティングプロトコルを学習するが, ルーティングに様々な工夫を凝らし, 実際に動作させ, 確認しながら学べる機能を付加した教材となっている。この際の中継機間のルーティングネットワークを可視化するために PC 画面上で可視化できるツールの開発も行った。これらを総称して無線通信可視化ツールと呼ぶ。

開発した無線通信可視化ツールは次のような機能を

有する。

機能 1 小型通信システムは、搭載された LED により各機器毎で通信状況の可視化が可能

機能 2 小型通信システムは PC と組み合わせて容易にプロトコルの変更が可能

機能 3 サーバに中継機の通信状況を定期的に送信し、その情報をもとに PC 画面上でネットワーク全体の接続状況の可視化が可能

これら機能により無線通信、電波の仕組み、ルーティングプロトコル等について体験的に学習できる教材としている。本教材における小型通信システムは、マイコンボードの Arduino と無線通信モジュールの XBee(2)を組み合わせて開発し、通信状況の可視化に LED を使用した。また、PC 画面上でのネットワーク全体の可視化にはグラフィック機能に特化した Processing(3)を用いて作成した。

本教材では、電波の性質を理解した後、無線通信プロトコルの学習の一環としてルーティングプロトコルを学ぶ。プロトコルの学習は、他に MAC プロトコルの学習等も考えられるが、今回は無線通信固有の問題が多く存在するルーティングプロトコルを取り上げた。無線通信におけるルーティングでは、一度ルーティングを確立しても、通信路上に障害物が入る等様々な要因で経路が切断されることがあり、それを感知して自動的に再度ルーティングを行う必要がある。また、途中で中継機が増設された場合にも、より良い経路をすべての中継機が確立するために、様々な工夫をプロトコルに実装する必要がある。このプロトコルの工夫を学習者自らが考えることは座学では困難である。そこで、それらの問題点を理解して実装するために、本教材はルーティングプロトコルに様々な工夫をし、その動作を評価することに大きな意義があると考えた。

本研究ではこの教材を使ったカリキュラムによる授業を高校生を対象に行われたセミナーで実施し、高校生による評価アンケートを行った。アンケートでは、電波の性質の理解、ルーティングプロトコルの理解、そして本教材が無線通信技術の理解に貢献できたか調査を行った。

本論文は、2、3 で本研究において我々が開発を行った教材および、教材を用いたカリキュラムについての詳細を述べる。4 では教材および、教材を用いたカリ

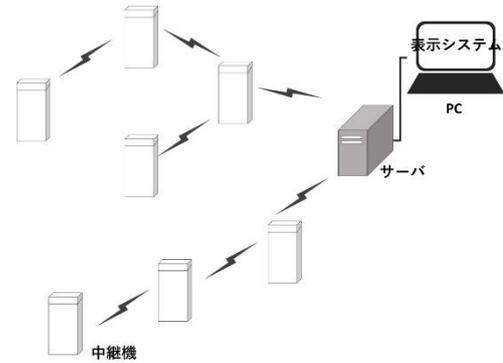


図 1 無線通信可視化ツール

キュラムで高校生に行った授業の内容とその評価を行う。

2. 無線通信可視化ツールの機器構成

本章では我々が作成した無線通信学習教材である、無線通信可視化ツールについて述べる。

2.1 無線通信可視化ツール構成要素の詳細

図 1 に本ツールの概略図を示す。本ツールを用いたカリキュラムではルーティングプロトコルを扱うが、そのためにネットワークに複数設置する機器を中継機、それら中継機から送信されたデータの処理を行う機器をサーバと呼ぶ。サーバは、中継機から送信されたデータからルーティングネットワーク全体の可視化を行うためのデータを PC へ転送する。PC 側では Processing を用いて、サーバから送られてきたデータをもとにネットワーク全体の可視化を行う。

本研究では、中継機 8 台、サーバ 1 台を用意し、各機器を識別するためにそれぞれ ID を割り当てた。この ID は、ルーティングプロトコルの処理に用いる。

以下では無線通信可視化ツールを構成する各要素の詳細について述べる。

2.1.1 中継機

本システムにおける中継機は、Arduino と XBee、LED を用いて作成した。図 2 に中継機の外観を示す。使用した Arduino は Arduino Fio(4)という、XBee との利用が想定されたモデルを使用した。Arduino は PC と接続して、独自に用意された統合開発環境を使用することで、容易にプログラムを書き込むことができる。これによりプロトコルの変更を容易に行うことができる。

中継機に取り付けた LED は計 6 つで、それぞれに

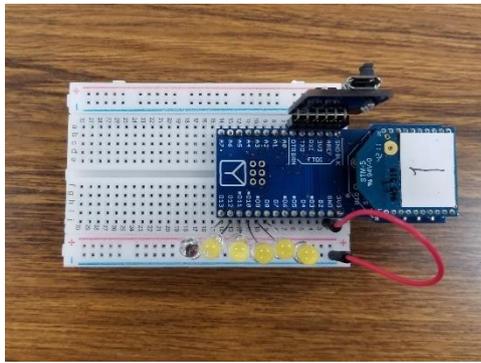


図 2 中継機

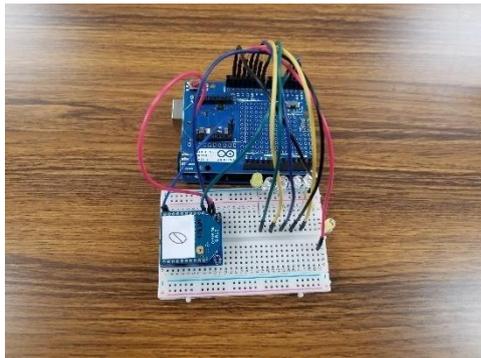


図 3 サーバ

役割を与えている。役割は、中継機のデータの転送先（以下親局とよぶ）の決定通知、受信、送信確認、接続情報更新、未更新の確認、親局変更の通知である。親局決定通知は赤色 LED、それ以外は白色 LED を使用した。

親局決定時に点灯する LED は、親局がなければ消灯させ、その中継機が親局を決定しているかひと目で分かるようになっている。送受信の LED は送受信があったかそれぞれの LED の点滅によって知らせる。接続情報更新確認の LED は、中継機の内部で起動しているタイマ変数の更新を確認するためのものであり、3.2.3 のプロトコル動作時に使用する。また、親局変更通知の LED も 3.2.3 の親局変更時に使用する。また、これらの LED も点滅によって状態の通知を行う。

2.1.2 サーバ

本システムのサーバは中継機同様に Arduino と XBee, LED を使用して作成した。図 3 にサーバの全体図を示す。サーバの Arduino は Arduino UNO(5) というモデルを使用した。サーバは中継機から送信される、ネットワークを可視化するための情報の受信処理を行い、接続されている PC にデータを送る必要がある。この操作を行う場合、Fio よりも UNO を使用した方が処理が行いやすいため、UNO をサーバ用機器



図 4 ネットワーク表示システム

として採用した。Arduino であることに変わりはないので、中継機に使用した Fio と同様の操作でプログラムの書き換えを行うことができる。

サーバの LED は電源確認用、受信、送信確認 LED、PC へのデータ転送確認の通知を行う。電源確認 LED は赤色で、それ以外は白色 LED を使用している。電源確認 LED は起動中は常に点灯し、それ以外の LED は中継機同様、点滅によって各状態を通知する。

2.1.3 ネットワーク表示システム

本システムで扱うルーティングネットワーク全体の可視化を行うため、Processing で表示システムを作成した。そのインタフェースを図 4 に示す。

表示画面には、サーバと中継機のアイコンを配置し、サーバまでのルーティングは各アイコンを線で結び接続経路を可視化している。また、サーバまでどれだけの中継機を介しているか（以下、ホップ数とする）を可視化するため、各アイコンをホップ数に応じて色分けしている。また、中継機を示すアイコンには、各機器の ID、親局 ID、親局との接続電界強度を表示している。これらの表示は、中継機からのデータをもとにリアルタイムで更新を行う。

3. システムの動作概略

本教材では電波の性質の理解と合わせて、無線通信プロトコルの学習の一環としてルーティングプロトコルを扱う。本教材で扱うルーティングプロトコルの模式図を図 5 に示す。

まず、サーバを除く全てのの中継機は初期状態では親局が決定していないため、親局を決定する必要がある。図 5 では中継機 A と B がその状態にある。ここでは中継機 A の挙動を中心に説明する。中継機 A は親局と

して接続可能な機器があるか確認するためのパケットを送信する。このパケットを中継情報要求パケットと呼ぶ。この中継情報要求パケットを受信できた機器は、接続可能である旨を知らせるパケットを送信する。これを中継情報パケットと呼ぶ。しかしこの例では、中継機 A の 1 度目の中継情報要求パケットはサーバで受信されなかった例を示している。また、中継機 B でも受信できていないように見えるが、B はまだ親局が決定しておらず、親局が未決定の中継機はその間に中継情報要求パケットを受信しても、応答しない仕様になっているため応答がない。中継情報要求パケットに対する応答が得られなかった場合、一定時間経過後再び中継情報要求パケットを送信する。再び送信された中継機 A からのパケットを図 5 ではサーバが受信し、中継情報パケットの送信を行う。さらにこの中継情報パケットを中継機 A が受信できれば、中継機 A はサーバを親局として登録する。

親局登録後、中継機 A は中継情報要求パケットの送信を止め、中継情報パケットの送信を定期的に行う。また、図 5 の例では、親局が決定していない中継機 B で中継機 A の中継情報パケットを受信したため、B は A を親局として登録した。また、親局決定後には中継情報パケットの送信とは別に、ルーティングネットワーク全体を可視化するために必要な情報が付加されたパケットの送信も定期的に行う。これを接続情報パケットと呼ぶ。

本章では、無線通信プロトコル学習の一環として学ぶルーティングプロトコルと、使用したパケットの構成について述べる。

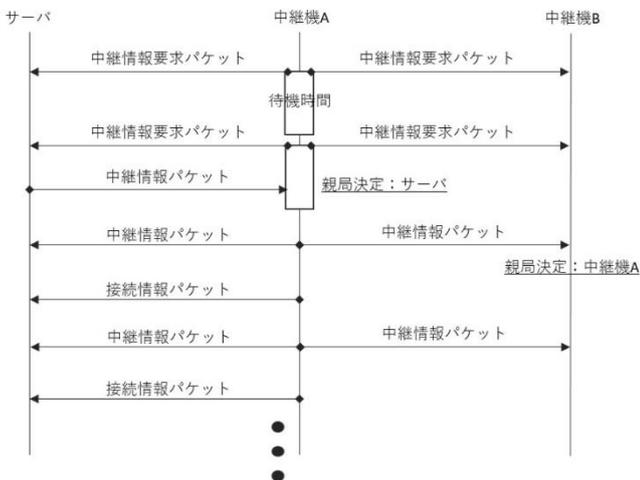


図 5 ルーティングプロトコルの模式図

3.1 パケット構成

無線通信可視化ツールでは無線通信を行うために XBee を利用する。XBee を使って任意のデータを付加してデータの送信を行う場合、予め用意されたデータフォーマットを利用しなければならない。図 6 に XBee のデータフォーマットを示す。データフォーマットは開始デリミタ、パケットの長さ、API 部、情報部、チェックサムで構成されているが、API 部については送信用と受信用で構成が異なる。

送信用は、XBee 使用者側で操作が必要で、ルーティングプロトコルを使用するにあたり、送信先 ID 部とオプション部の操作を行った。本教材を使用する上で、各機器が送信するデータはネットワーク全体にブロードキャストで送信する必要がある。そこで、予め用意されているブロードキャスト送信用 ID をここに付加する。オプション部では、ACK 停止オプション等を指定することができる。XBee では独自に ACK を送信する機能があるが、ルーティングプロトコルを学習する上で、XBee 独自の機能は不要であるため、ACK 停止オプションを設定する。

受信用フォーマットの内部は使用者側で操作を行うことはできない。しかし、本研究では無線通信可視化ツールを狭小空間内で使用するにあたり、電界強度情報による距離の判定を行う。そこで、この電界強度部よりデータを取得する。

ルーティングプロトコルで使用する各パケットを構成するには、自身で作成したデータを XBee のデータフォーマットに付加する必要がある。これは、情報部に格納することで、各パケットを構築することができる。

本システムで使用する各パケットは地域見守りシステムのパケット構成を参考に構築した。以下では、本システムで使用する各パケットの詳細を述べる。

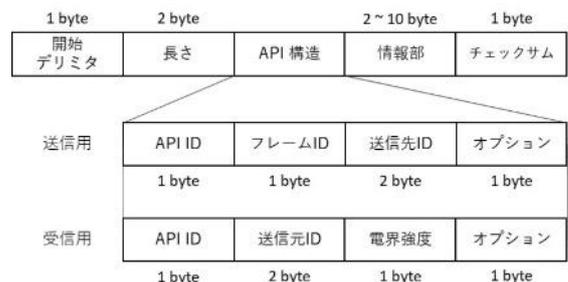


図 6 XBee のデータフォーマット

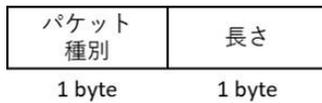


図 7 中継情報要求パケット



図 8 中継情報パケット (サーバ)



図 9 中継情報パケット (中継機)

3.1.1 中継情報要求パケット

中継情報要求パケットを図 7 に示す。このパケットは各中継機が親局未決定時に送信を行うパケットである。このパケットは接続可能な機器があるか確認できればよいため、受信側ではパケット種別と図 6 の電界強度が分かれば良い。従って、図 7 のような構成で中継情報要求パケットとしての役割を果たすことができる。

3.1.2 中継情報パケット

中継情報パケットは、中継機とサーバそれぞれが送信を行う。各構成を図 8、図 9 に示す。中継情報パケットが送信されるタイミングは、中継情報要求パケットを受信した時か、ルーティング情報更新のための定期送信の 2 通りある。

中継情報パケットは、中継機とサーバで異なる構成をしている。これは、中継機の中継情報パケットにある、親局 ID やホップ数のような情報はサーバからは不要で、サーバの ID さえ分かれば、中継機側で判断ができるような仕組みになっている。そのため異なる構成をしている。

3.1.3 接続情報パケット

接続情報パケットは、ルーティングネットワーク全体を可視化するために用意した独自のパケットである。構成を図 10 に示す。このパケットは親局を決定した中継機のみ一定間隔で送信を行い、親局を介してサーバまでデータを届ける。

このパケットを最初に送信する中継機は、図 10 にある各要素をパケットに付加する。このとき、送信先



図 10 接続情報パケット

ID には送信する中継機が登録している親局 ID が付加され、これを頼りに受信する各中継機側でパケットを処理し、サーバまで転送する。接続情報パケットを受信した中継機は、自身の持つ親局 ID を送信先 ID に上書きし、転送する。そのため、送信先 ID より後ろの情報が保持され、サーバにデータが届き、PC 側でネットワーク全体の可視化に利用する。

3.2 ルーティングプロトコルの概要

無線通信を学ぶ教材として、無線通信プロトコルを理解するためにルーティングプロトコルを扱う。本教材は、プロトコルの設計を実際に動作させながら確認できるため、学習者はプロトコルについて体験的に理解できると考える。このプロトコルの設計にあたり、学習者自身が自由にプロトコルを考えると、大変長い時間を要することが予測され、セミナーの時間内で理解できないことが予想された。そこで、本研究では地域見守りシステムのルーティングプロトコルをもとに我々が事前に作成したプロトコルを使い、プロトコルの設計を擬似的に体験してもらう。

本研究では、最適な経路設計を行うルーティングプロトコルを今回の最終到達目標とし、そのプロトコルを設計するまでに、単純な経路設計、障害発生時の経路設計を用意し、これらのステップを経て最適経路設計を行うプロトコルが動作するまでを体験してもらう。以下に、これら 3 つのプロトコルの詳細を述べる。

3.2.1 単純な経路設計

単純な経路設計を行うルーティングプロトコルの模式図を図 11 に示す。この例では、サーバと中継機を用い、中継機の挙動を中心に説明する。

中継機は親局が決定していないため、まず中継情報要求パケットを送信し、サーバが送信した中継情報パケットによりサーバを親局に決定する。以降、中継機は中継情報パケットの送信を行う。しかし、図 11 で

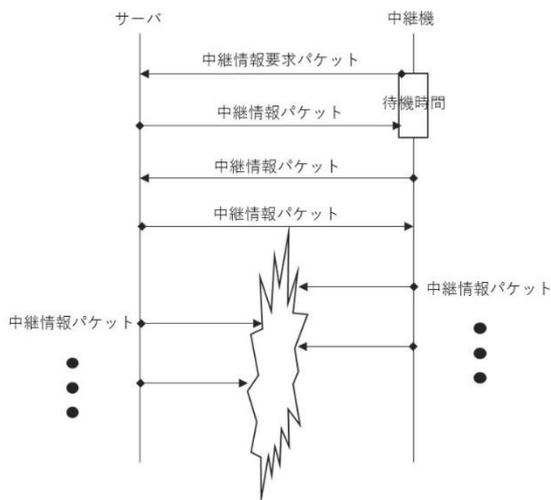


図 11 単純経路の構築

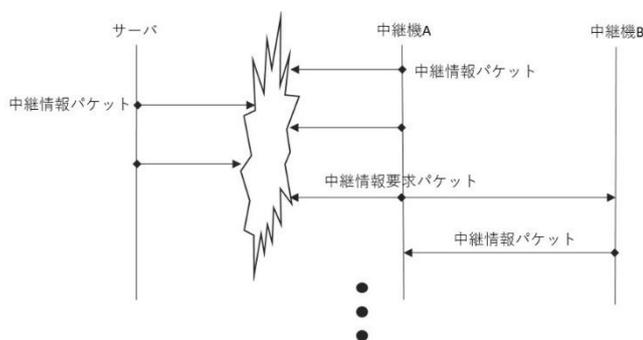


図 12 障害発生時の経路構築

は途中で電波を遮蔽するなんらかの要因が発生し、両機器間で電波が届かない状態にある。しかし、このプロトコルは親局を決定することのみを考えて設計されているため、障害発生に対応することができない。

このプロトコルからは、ルールを設けずにルーティングを行うと障害発生時に何も機能しないルーティングが行われてしまうことを実際に体験してもらう。

3.2.2 障害発生時の経路設計

3.2.1 のプロトコルを改良し、障害が発生した場合に親局を再決定するプロトコルの模式図を図 12 に示す。この例では、中継機 A と B はすでにサーバを親局として登録しているものとし、中継機 A を中心に説明する。

3.2.1 のプロトコルでは、電波が届かなくなったかどうかを確認する手段がなかった。そこで、このプロトコルではタイマを設け、親局からの電波を受信する度にタイマを更新し、一定時間更新されなければ、親局を探すように変更が加えられている。そのため図 12 の例では、中継機 A は親局であるサーバに電波が届かず、一定時間経過したあと中継情報要求パケットを送信している。これを受け取った中継機 B が中継情報パ

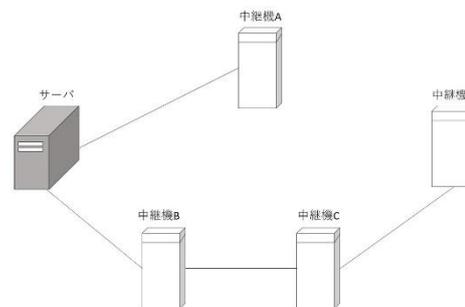


図 13 親局決定後の接続経路例

ケットを送信し、中継機 A は中継機 B を新たな親局として登録する。

このプロトコルにより、通信障害が発生した場合に対応できる経路設計の一例を学ぶことができる。

3.2.3 最適経路の設計

3.2.2 のプロトコルでは障害発生時に新たな親局の探索を行うが、障害が発生しない限り親局の変更は行われない。しかし、実際の無線通信を使ったルーティングは、機器の増設が容易であることや、より良い経路を常に探索できるなどの利点がある。しかし、3.2.2 のプロトコルでは、新たな機器が出現しても特に変化がない。例えば図 13 のような経路が構築されていたとする。この例の場合、中継機 D は 3 ホップでサーバにデータを届けるが、中継機 D が A と電波が届く状態であった場合、A を親局とした方が効率良くデータを届けられる。

そこで、より良い経路を「少ないホップ数でサーバまでデータを届けることができる」と定義した場合に、動的に親局の変更を行うことができるのが最適経路設計プロトコルである。

このプロトコルは、本研究で扱うルーティングプロトコルの最終到達目標であり、学習者は動的に変更されるルーティングを観測することで、体験的にルーティングプロトコルの設計について学べると考える。

4. システムの評価

本教材を 2018 年 8 月 7 日に高校生を対象とした行われたセミナーにおいて、無線通信分野を選択した生徒 14 名に使用してもらい評価アンケートを行った。当日のセミナーの状況と内容は、

- (1) 授業時間は 2 時間、前半に無線に関する座学、後半で教材を使用

表 1 無線通信技術に関するアンケート結果

理解度	電波の性質	ルーティングプロトコル		
		単純経路	障害発生時	最適経路
とても理解できた	7	7	7	7
理解できた	7	7	7	7
理解できなかった	0	0	0	0
全く理解できなかった	0	0	0	0

(2) 教材として小型通信システムを 8 台、サーバ、PC を使用し、各機器を大型のテーブルに展開

(3) 14 人の生徒がテーブルを囲むように座る

(4) 電波を遮蔽する障害物に、アルミホイルで巻いた箱をいくつか用意

(5) 障害物により、電波が弱くなったり、遮断されたりすることを確認できる

(6) 電波の強度を PC 画面上で出力し、距離によって電波強度が変わることを可視化

(7) 3 種類のルーティングプロトコルを「単純経路設計」「障害物発生時の経路設計」「最適経路設計」の順に書き換えながら都度動作を確認

(8) 生徒は自由に小型通信システムと障害物を動かし、その都度小型通信システムに取り付けられた LED により無線の状態を把握し、ルーティングネットワークの状態はスクリーンに投影された PC 画面で都度確認ができる

上記のようにしてセミナーで授業を行った。また、参加した高校生は無線通信について未就学であった。

アンケートは 4 つの設問を立てそれぞれ 4 件法により評価を行った。また、各設問毎に理解する上で何が役立ったかも記述する欄を設けた。アンケート結果を以下に述べる。

4.1 無線通信技術に関する理解

無線通信技術に関する理解度を確認したアンケート結果を表 1 に示す。以下では、各項目についての評価結果を述べる。

4.1.1 電波の性質の理解

電波の性質の理解は「とても理解できた」7 人、「理解できた」7 人と概ね良好な結果を得ることができた。従って、本システムを用いた授業により、今回のセミナー参加者は電波の性質が理解できたことが確認できた。

アンケートでは電波の性質を理解する上で、何が理解を助けたか記述式でアンケートを行ったところ、「ア

表 2 可視化ツールの評価

理解度	小型通信システム	GUIツール
とても分かりやすかった	4	8
分かりやすかった	9	5
分かりづらかった	0	0
とても分かりづらかった	0	0
未回答	1	1

ルミホイルの箱により電波が遮蔽され、障害物によって電波が届かなくなることが確認できた」「実際に無線通信の電波の様子がツールによって観測できた」ことが理解を支援したとの意見を得ることができた。

4.1.2 ルーティングの理解

ルーティングプロトコルの理解度は、作成したプロトコルそれぞれで評価を行った。結果は表 1 にあるようにそれぞれ「とても理解できた」7 人、「理解できた」7 人と電波の性質の理解同様、概ね良好な結果を得ることができた。

この項目についても、どんな部分が理解を助けたか記述式で調査を行ったところ、「親局決定通知の LED の点灯によって、親局が決定されているのかどうか理解できた」「スクリーン上の PC 画面と LED の表示を照らし合わせながら見ることでよかった」「機器の距離により、ルートが変更される様子が分かった」「障害物により新たな経路を探索する様子が実際に見ることができた」「プロトコルを段階を踏んで説明があった」ことが理解の助けになったとの意見を得ることができた。

4.2 可視化ツールの評価

本ツールに関するアンケート結果を表 2 に示す。

4.2.1 小型通信システムの評価

小型通信システムの評価は「とても分かりやすかった」4 人、「分かりやすかった」9 人であり、概ね良好な結果を得ることができた。

小型通信システムの良かった部分を評価してもらったところ、「データの種類に応じて点滅する LED が違っていったことが分かりやすかった」「LED の点滅でデータの受信等のタイミング等が分かった」との意見を得ることができた。また、改善すべき点についても調査を行ったところ「LED の設置間隔が近い」「表示色が少ない」「LED の役割を覚えておくのが大変だった」との意見があった。設置間隔については、今後さらに

改良を加えていくことが可能であると考え、表示色については、今回は2色と少なかったがもともとLEDの入手可能な色の数が限られているので、LEDの表示と合わせた別の可視化方法の検討が必要であると考えられる。

4.2.2 ルーティングネットワーク表示システムの評価
ネットワークの表示に関する評価は「とても分かりやすかった」8人、「分かりやすかった」5人と小型通信システムの評価よりも良い評価を得ることができた。

PC画面上での表示に関しては、「どことつながっているかひと目で理解することができた」「各中継機の表示に電界強度情報も付与したことで、接続が切れる距離、また障害物による影響をリアルタイムで観察できた」ことがツールの良かった点であったとの意見を得ることができた。PC画面上の可視化は、小型通信システムの表示よりも柔軟性に富むため、可視化方法に手を加えやすかったため、このような好意的な意見を得ることができたと考えられる。PC画面上での可視化について、今回のセミナーでは改善すべき点は挙げられなかった。

4.3 自由記述

無線通信技術や、可視化ツールに関するアンケートの他に、自由記述を設けたところ興味深い意見を得ることができたので紹介する。

「電波の様子はイメージや図などでしか考えていなかったが、直接的ではないが電波を可視化したことで今まで以上に理解でき、この分野に興味を持つことができた」「電波は正確なものだと思って利用していたが、気まぐれな側面もあることが面白かった」等の意見を得ることができた。実際に電波を観測することはできないが、それを間接的に見ることができれば、仕組みや性質を理解することを支援できることが分かった。また電波に、気まぐれな側面があるという意見は、距離によって電波が届きづらくなるということは理論的に分かるが、同じ距離でも電波の強度が異なる状況が発生し、それを今回の教材を通して体験できたことが、このような意見を引き出せたと考えられる。

本教材を使用したセミナーにおいて、参加高校生から概ね良好な意見を得ることができ、また実際に体験しながら学習することは学習者の興味を引くことにも

つながることが分かった。

5. むすび

本論文では、無線通信学習者の学習支援を目的として開発した無線通信可視化ツールについて述べ、これを実際に高校生を対象に行われたセミナーで使用し評価を行った。

評価結果から、本教材が無線通信学習の理解を支援できることが確認できた。しかし、今回アンケート調査を行った人数は14人であり、あらゆる学習者にとって本教材が有用であるかの裏付けにはならない。また、今回セミナーを行った対象高校生は、無線通信に関する知識がなくとも少なからず無線通信に関する興味を持っている高校生であったことも、今回のような結果に結びついたことが考えられる。しかし、実際に無線通信技術学習者すべてが無線通信に興味を持っているとは限らないことから、根本的に学習者の興味を引くような教材としての在り方も検討する必要があると考えられる。

本研究では実際に教材をセミナーで使用してもらったことで、可視化ツールの長所と改善すべき点を明確にすることができた。今回の評価結果を含め、可視化ツールのさらなる改善を進め、本教材が無線通信技術の理解を支援するシステムとなるよう開発を進めていく。

参考文献

- (1) 野瀬 裕昭, 不破 泰, 新村 正明, 國宗 永佳, 本山 栄樹, 金子 春雄: “無線 Ad-Hoc ネットワークによる地域見守りシステムの開発”, 電子情報通信学会論文誌, B, Vol.J95-B, No.1, pp.30-47 (2012)
- (2) XBee S1 802.15.4 low-power module w/PCB antenna
<https://www.digi.com/products/models/xb24-api-001>
(2018年9月10日確認)
- (3) Processing
<https://processing.org/> (2018年9月10日確認)
- (4) Arduino Fio,
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-fio> (2018年9月10日確認)
- (5) Arduino UNO Rev3,
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> (2018年9月10日確認)