

# IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化に向けた取り組み

北上 眞二<sup>1</sup> 長谷川恵大<sup>1</sup> 小泉 寿男<sup>2</sup> 井上 雅裕<sup>3</sup>

**概要:** 新型コロナウイルス感染症への対応の一環として、大学や高等専門学校などの高等教育機関においては授業のオンライン化が急速に進んでいるが、実験や実習のオンライン化については課題が多い。本稿では、IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化に向けて、教師の視点と学生の双方の視点からシステム要件を分析した上で、この要件を満足するオンライン IoT プロトタイプ開発実習環境の提案し、その有効性について評価を行った。その結果、既存技術の組み合わせである程度は実習環境のオンライン化は可能であるが、ノート PC を使用する学生側の環境に課題が残った。

**キーワード:** オンライン授業、開発実習、IoT、新型コロナウイルス感染症

## Online Training Environment for IoT Prototype Development

SHINJI KITAGAMI<sup>1</sup> KEITA HASEGAWA<sup>1</sup>  
HISAO KOIZUMI<sup>2</sup> MASAHIRO INOUE<sup>3</sup>

**Abstract:** As part of the response to COVID-19, a lot of classwork at the higher education institutions, such as universities and colleges of technology, are rapidly becoming online. However, there are many issues regarding online experiments and practical training. In this paper, we analyze system requirements from both the teacher's and student's point of view for the online IoT prototype development training and propose an IoT prototype development training environment that satisfies these requirements. As a result of evaluating its effectiveness, although it is possible to bring the training environment online by combining existing information technologies, we found some issues with the environment on the students using a notebook PC.

**Keywords:** Online Classwork, Development Training, IoT, COVID-19

### 1. はじめに

新型コロナウイルス感染症への対応の一環として、企業だけではなく、大学や高等専門学校などの高等教育機関においても授業のオンライン化が急速に進んでいるが、実験や実習を伴う科目のオンライン化は困難である[1]。我々は、IoT 人材育成を目的として、IoT プロトタイプ開発実習を PBL (Project Based Learning) 科目として実施している[2]。この科目では、座学により IoT の概要を学習した後、様々な分野に導入されている IoT の応用について調査し、その目的と効果について議論する。次に IoT により解決したい身近な問題を取り上げ、それを解決する IoT システムのプロトタイプ開発を行う。ここで、IoT 概要を学ぶ座学については、教員の講義内容を映像化して、一方向の映像配信によってオンライン化することは容易である。また、IoT 応用の調査については、学生による調査結果の発表と議論を行うため、Zoom や Microsoft Teams などの双方向オンライン会議システムを導入することができる。しかしながら、IoT プロトタイプ開発のフェーズでは、IoT デバイスの実装

において、様々なセンサやアクチュエータの取り付けや配線作業などの「ものづくり」が必要となるため、オンライン会議システムの画面共有機能だけでは、実習を行うことが困難である。

本稿では、教師と学生の双方の視点から、IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化におけるシステム要件を明らかにした上で、その要件を満足する「オンライン IoT プロトタイプ開発実習環境」を提案し、その有効性についての評価と今後の課題の抽出を行った。なお、この試作においては、早期導入と導入コストの最小化を最優先とし、可能な限り既存のソフトウェアやハードウェアの組み合わせによりシステム構築を行った。

### 2. IoT プロトタイプ開発実習の概要

IoT (Internet of Things; モノのインターネット) は、2030 年までに第 4 次産業革命を牽引すると共に、地域産業の活性化や老朽化した社会インフラの整備など成熟化した日本の様々な問題を解決するための社会基盤になることが期待されている[3][4]。IoT システムを更に普及させるためには、その適用領域のドメイン知識を持ち、IT と OT を最適に組み合わせた IoT システムを具現化できる IoT 人材の育成が重要である[2][5][6]。ここで、IT はネットワークやセキュリティなどの情報技術 (Information Technology) であり、OT

1 福井工業大学

Fukui University of Technology

2 NPO 法人 M2M・IoT 研究会

Study Group on M2M/IoT, Nonprofit Organization

3 芝浦工業大学

Shibaura Institute of Technology

は電気や機械などの運用技術 (Operation Technology) を意味する[4].

福井工業大学では、このような IoT を支える人材育成を目的に、3 年次の PBL 科目として、IoT プロトタイプ開発実習に取り組んでいる (環境情報学演習 I・II) [2]。図 1 に、本 PBL 科目の教育カリキュラムの構成を示す。

前期に開講する環境情報学演習 I では、最初に、座学で IoT の概要と IoT を支える技術について学ぶ。座学の後に、インターネットで公開されている情報や参考文献などを参考に、様々な分野に導入されている IoT アプリケーションの目的や効果について調査を行い、個人またはチーム単位で調査結果を発表し議論する。次に、基本的な IoT システムの構築方法を習得するための IoT プロトタイプ開発実習①に取り組む。この IoT プロトタイプ開発実習①は、3 つのステップから構成される (図 2)。

【第 1 ステップ】IoT デバイス開発

開発実習の第 1 ステップは、小型ボードコンピュータである Raspberry Pi に、センサとして照度センサ、アクチュエータとして LED モジュールを接続し、暗くなったら LED を点灯させる簡単な IoT デバイスを開発する。開発環境は、フローベースのビジュアルプログラミングツールである Node-RED [7]を使用する。

【第 2 ステップ】IoT デバイスの連携

開発実習の第 2 ステップでは、第 1 ステップで開発した IoT デバイスを、MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [8]を用いてインターネット経由で連携させる。MQTT は、IoT システムで多用されている軽量なパブリッシュ/サブスクライブ型のメッセージ交換プロトコルであり、メッセージを中継するための MQTT ブローカは、あらかじめクラウドサービスとして準備しておく。この連携により、IoT デバイスが設置されている場所の明るさに応じて、異なる場所に設置された IoT デバイスの LED を点灯/消灯させることができる。また、進捗が早い学生は、照度センサや LED だけではなく、近接センサやステップモータなどを組み込み、IoT により様々なセンサとアクチュエータの連携を体

感する。

【第 3 ステップ】収集データ可視化

開発実習の第 3 ステップでは、MQTT によってクラウドサーバに収集したデータの可視化を行う。具体的には、クラウドサーバ上の Node-RED を使用して、収集した照度データをグラフ化するアプリケーションを開発し、パソコンやスマートフォンに IoT デバイスが設置された場所の照度変化を可視化する。

この 3 ステップによる IoT プロトタイプ開発実習によって、学生に IoT によるデータ計測/収集/可視化と制御の仕組みを理解させることができる。最後に、開発実習で苦労した点や工夫した点、今回の実習内容を今後どのように役立てたいかなどを中心に、個人またはチームで相互発表と議論を行い、環境情報学演習 I を締めくくる。

後期に開講する環境情報学演習 II では、環境情報学演習 I で習得した IoT システムの構築方法を活用して、IoT プロトタイプ開発実習②に取り組む。具体的には、「身近な問題を解決する IoT」についてチーム単位で議論をし、それを具現化するための IoT システムのプロトタイプ開発に取り組む。

3. 実習のオンライン化における課題と要件

本章では、第 2 章で説明した IoT プロトタイプ開発実習をオンライン化する場合の課題と要件について述べる。

3.1 IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化の課題

環境情報学演習 I において IoT 概説を学ぶ座学については、教員による講義の内容を映像化し、一方向の映像配信によってオンライン化することは容易である。また、個人やチームによる IoT アプリケーションの調査や調査結果の発表については、双方向オンライン会議システムを導入することにより実現することができる。ここで、双方向オンライン会議システムとは、会議参加者の顔映像と音声リアルタイムで配信し、発表者の画面やプレゼンテーション資料を共有できるシステムであり、具体的には、Zoom や Microsoft Teams などがある。



図 1 IoT プロトタイプ開発実習カリキュラム  
Figure 1 Training Curriculum of IoT Prototyping Development

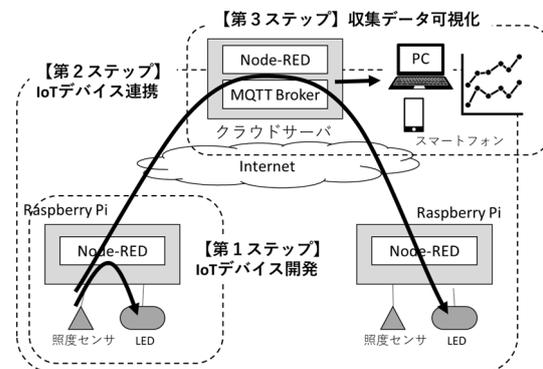


図 2 IoT プロトタイプ開発実習のステップ  
Figure 2 Development Step for IoT Prototyping

しかしながら、回路配線などの工作やロジックのプログラミングが必要となる IoT プロトタイプ開発実習①では、オンラインによる教員指導が困難となる。たとえば、オンライン会議システムの画面共有機能のみでは、教師が配線工作の手本を見せたり、Node-RED で開発したアプリケーションと IoT デバイスの動作を同時に確認したりすることができない。また、全員の学生が実習に問題なく取り組んでいるかを確認することができない。

さらに、環境情報学演習Ⅱでは、チームごとに学生自らが考案した IoT システムのプロトタイピングに取り組むため、学生が他の学生に教えることで学びを深めるピア・ティーチングが重要となるが、1 対多の講演や講義での利用を想定したオンライン会議システムでは、実習を効果的に進めることができなくなる。

### 3.2 IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化の要件

上記の課題を解決するための「オンライン型 IoT プロトタイプ開発実習環境」の実現に向けて、教師と学生の双方の視点から、システム要件の洗い出しを行った。

#### (1) 教師視点でのシステム要件

- 学生の PC 画面に表示された開発中の Node-RED プログラムを確認し、誤りなどが指摘できること。
- 学生の手元で行う回路配線を確認し、誤りなどの指摘ができること。
- 複数の学生の実習状況を同時に確認し、必要に応じて、その場で指導できること。また、その指導内容を他の学生が共有できること。

#### (2) 学生視点でのシステム要件

- 教師が PowerPoint などで作成した実習手順を参照しながら実習に取り組めること。
- 教師の PC 画面に表示された Node-RED プログラムの動きを参照できること。
- 教師による回路配線などの実演作業を確認しながら、自分の作業が行えること。
- 他の学生の状況を把握し、必要に応じて協調作業のためのコミュニケーションが取れること（ピア・ティーチング）。

## 4. オンライン IoT プロトタイプ開発実習環境

### 4.1 システム構成

第3章で述べたシステム要件をもとに構築したオンライン IoT プロトタイプ開発実習環境のシステム構成を図3に示す。

#### (1) 教師側環境

教師が実習手順を説明するための PowerPoint のプレゼンテーション画面、Node-RED で開発したフローを表示させるための Web ブラウザ画面、および手元の配線工作の実演作業を表示させるためのカメラ映像を、配信ソースとして取り込む。ここで、会話者の顔を撮影する PC 標準搭載のカメラでは、手元の作業の状況を撮影することができないため、別途 Web カメラを接続した。また、複数学生の実習状況を同時に確認するために、大画面モニタを接続した PC を設置し、作業の PC とは異なるアカウントでオンライン会議システムにログインするようにした。なお、教師が使用する作業用 PC は、CPU : Intel Core 5i/1.61GHz, メモリ : 8GB のノート PC とした。

#### (2) 学生側環境

学生側は、ノート PC のみで実習に取り組むことを想定した。教師が、学生の手元作業と作成したプログラムを確認できるようするために、スマートフォンのアプリを利用し、ノート PC に標準搭載されたカメラとは別のスマートフォンカメラの映像とノート PC 画面を配信ソースとして取り込むようにした。

### 4.2 実現方式

本システムの実現にあたっては、大学のオンライン授業における履修者登録や視聴開始/終了時間の記録を行うことができる Microsoft Teams を共通基盤として採用した。ただし、Teams の画面共有機能では、複数の入力ソースを同時に配信することができない。そのため、本システムでは、Teams の画面共有機能は利用せずに、すべての入力ソースを混在させた映像を配信する形態とした。具体的には、ライブ配信用のソフトウェアである OBS Studio [9]を導入し、複数の入力ソースのコンテンツを画面上にレイアウト配置

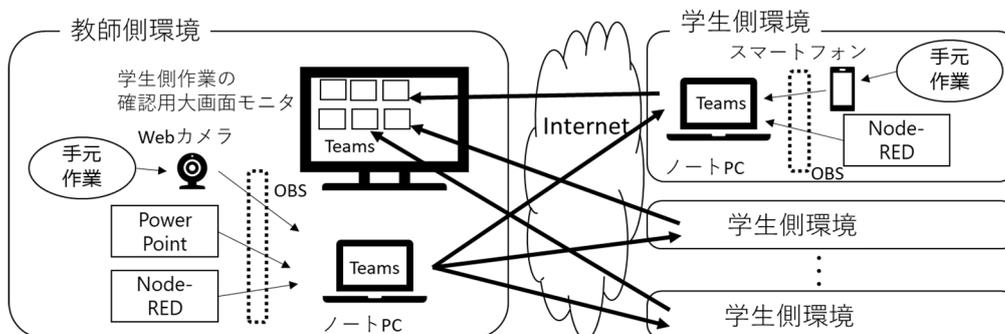


図3 IoT プロトタイプ開発実習環境のシステム構成  
Figure 3 Overview of Online Training Environment for IoT Prototype Development

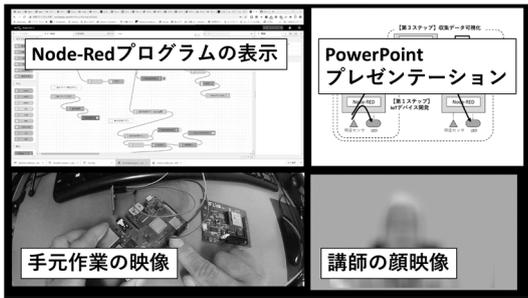


図4 教師側の配信コンテンツの例  
Figure 4 Example of Delivered Contents

し、その画面をバーチャルカメラとして Teams に接続する。これにより、学生は、教師が提示する実習手順、Node-RED のプログラム例および回路配線の実演の様態を同時に視聴することが可能となる。また、異なるレイアウトの画面をシーンとして登録しておき、必要に応じてシーンを切り替えることにより、実習の内容に合わせて必要となるコンテンツの組合せ配信が可能となる。本システムによる教師側からの配信コンテンツの例を図4に示す。

一方、学生側のノート PC にも OBS Studio を導入し、Teams の画面共有機能を使用せずに、手元作業映像と PC 画面を組み合わせた映像を配信する。これにより、教師は、複数の学生の実習作業を同時に確認することができ、必要に応じて、特定の学生の配信コンテンツを拡大表示して細部を確認することができる。さらに、特定の学生の配信コンテンツを教師側の OBS Studio の入力ソースと取り込み、Teams で再配信することにより、マウスポインタを使って、本人だけでなく、他の学生に配線誤り箇所を確認させることもできる。

## 5. 評価と考察

本研究では、学生4名と教師1名が第4章で提案したシステムを実使用して、その有効性の確認と今後の課題の抽出を行った。

一般的なプログラミング実習とは異なり、IoT プロトタイプ開発実習は、IoT システムに組み込まれたハードウェアの動作とソフトウェアであるプログラムの動作を同時に確認する必要がある。通常のオンライン会議システムの画面共有を何度も切り替える必要があるが、本実習環境では、画面共有の切り替えを必要とせず、それらを同時に確認することができるため、実習作業をスムーズに進めることができた。ただし、OBS Studio によって複数の映像や画面を組み合わせることで配信するようにしたため、教師側の PC の負荷が高くなり、映像に遅延が発生する場面があった。これを解決するためには、映像のフレームレートを低くしたり、HDMI スイッチャなどのハードウェアを導入したりする必要がある。

教師側の環境は、メインとなる PC の他に、学生の実習進捗を確認するために大画面モニタを接続した PC を用意

した。これにより、学生の進捗を確認しながら実習指導を行うことができた。一方で、学生側の環境はモニタ画面が小さいノート PC 1台のみとしたため、自分がプログラムを開発するためのウィンドウ画面と教師側からの配信画面を都度切り替える必要があった。この問題に対しては、ノート PC に別のモニタを接続してデュアルモニタで表示画面を拡大することで対応することが可能であるが、別途タブレット端末を学生に配布し、学生側の実習状況の配信と教師側コンテンツの受信を分ける方法も考えられる。具体的には、学生は、Teams のコンパニオンモードでタブレット端末からノート PC と同じアカウントでログインし、教師側コンテンツを参照しながら、ノート PC で作業を行う。このノート PC 側の作業状況（手元映像とプログラム開発画面）は、教師と他の学生に配信することになる。しかし、この方法では、学生は他の学生の作業内容を確認することができず、学生の協調作業によるピア・ティーチングの実現が困難であるという課題が残った。

## 6. まとめ

本稿では、IoT プロトタイプ開発実習のオンライン化のためのシステム要件を明らかにし、それを解決するためオンライン実習環境を提案した。本稿では、Microsoft Teams を基盤としたが、Zoom などのカメラ入力が可能な他のオンライン会議システムにも適用が可能である。今後は、第5章で述べた課題を解決するとともに、VR (Virtual Reality) 技術などを取り込み、オンライン IoT プロトタイプ開発実習環境の高度化を図っていく予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K03151 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] “6割の大学が遠隔と対面授業を併用。全面的な対面授業の再開は先行き見えず”, <https://project.nikkeibp.co.jp/pc/atcl/19/06/21/00003/072200104/> (参照 2020-09-14).
- [2] 北上真二, 井上雅裕, 小泉寿男, AI/IoT コーディネータ人材育成に向けた取り組み, 2019 年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会, E-1, 2019.
- [3] 電気学会第2次 M2M 技術調査専門委員会, M2M/IoT システム入門, 森北出版, 2016.
- [4] 北上真二, IoT による省エネ, 電気書院 電気計算, 2019, vol. 87, no.4.
- [5] 井上雅裕, 中島毅, 海津裕, 清尾克彦, 大江信宏, 小泉寿男, IoT/AI を各分野で使える人材育成の取り組み, 2019 年度日本工学研究協会講演論文集, 3D01, 2019.
- [6] 大江信宏, 北上真二, 米盛弘信, 井上雅裕, 汐月哲夫, 小泉寿男, M2M のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践, 電気学会論文誌 A, 2015, vol.135, no.11, pp.655-665.
- [7] Node-RED, <https://nodered.org/> (参照 2020-09-14).
- [8] MQTT, <https://mqtt.org/> (参照 2020-09-14).
- [9] OBS Studio, <https://obsproject.com/ja> (参照 2020-09-14).