

東京電機大学

博士論文

プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系に
非依存の IoT 教育法の開発とその実践

Development of IoT education method not
dependent on information course or non-
information courses based on prototype
construction and its practices

2019 年 3 月

秋山 康智

目次

1. 序章	4
1.1. 研究の背景.....	4
1.2. 研究の目的.....	5
1.3. 論文の構成.....	7
2. IoTシステム教育の関連研究と課題.....	9
2.1. IoTシステムの概要	9
2.2. IoTシステムの応用事例	10
2.2.1. エネルギー管理分野の例.....	11
2.2.2. セキュリティシステムの例	12
2.3. IoTの教育に関する関連研究と課題.....	13
3. 文系学生へのIoTシステム教育の提案と実践.....	16
3.1. 文系学生へのIoTプロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と実践....	16
3.1.1. はじめに	16
3.1.2. IoTシステムの特質とプロトタイプシステム.....	18
3.1.3. IoTプロトタイピング教育カリキュラムの提案	19
3.1.4. IoTプロトタイピング教育カリキュラムの実践	21
3.1.5. 考察	27
3.1.6. 3.1のまとめ	31
3.2. IoTプロトタイプの段階的構築によるアイデア創出方式と実証	32
3.2.1. はじめに	32
3.2.2. IoTプロトタイプシステム.....	33
3.2.3. IoTプロトタイプ段階的実装におけるアイデア創出法の提案.....	34
3.2.4. IoTプロトタイピング教育手法の実践	35
3.2.5. 創出アイデアに関する考察.....	38
3.2.6. 3.2のまとめ	40
3.3. 3章のまとめ.....	40
4. 支援エージェントを用いたIoTプロトタイプの構築によるIoTシステム教育法の提案 と実践.....	42
4.1. はじめに	42
4.2. 関連研究	43
4.3. エージェント支援機能を持ったIoTプロトタイプ構築教育法の提案	45
4.3.1. IoTシステムの特質とIoTプロトタイプシステムの構造	45

4.3.2.	エージェント支援機能を持った IoT プロトタイプ構築教育法.....	46
4.3.3.	学習支援エージェントの機能.....	47
4.4.	実践.....	50
4.4.1.	構築環境の準備.....	50
4.4.2.	構築学習の実践.....	50
4.5.	結果と考察.....	57
4.5.1.	結果.....	57
4.5.2.	考察.....	58
4.6.	4章のまとめ.....	60
5.	プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系に非依存の IoT 教育への展開.....	61
5.1.	はじめに.....	61
5.2.	IoT システム教育の現状と課題.....	62
5.2.1.	IoT プロトタイプシステム.....	62
5.2.2.	IoT プロトタイプ構築の意義.....	63
5.3.	IoT システムの教育.....	64
5.3.1.	概要.....	64
5.3.2.	IoT プロトタイプ構築法.....	65
5.4.	企業人技術者教育への展開.....	67
5.5.	分野別カリキュラムの展開策.....	75
5.5.1.	各大学との意見交換の実施.....	76
5.5.2.	分野別 IoT 教育の展開策.....	77
5.6.	5章のまとめ.....	77
6.	結言.....	79
	謝辞.....	82
	参考文献.....	83

1. 序章

1.1. 研究の背景

IoT (Internet of Things) は、センサを含む機器と機器の相互通信、および機器とクラウドのサーバが、ネットワークにより相互接続し、人間が介在することなく自動で収集したデータを送受信し、様々なサービスを提供するシステムである。近年、センサ機器の小型化、低コスト化、ネットワーク化、さらに、クラウドコンピューティングの発展に伴い、IoT システムが注目を浴びている。またそれに伴い IoT システムを基盤としたサービスが様々な分野で増加している。また、IoT デバイスとして適用可能な、スマートフォンやタブレットが世の中で多く使われていることも、多くの分野に IoT システムが応用されることに加速をかけている [1~5]。

IoT システムは、工業、農業、施設産業、交通、流通、医療、福祉、教育などの多くの応用分野で活用されつつある。IoT 技術を用いた様々なシステムが提案されてきている。車載系分野では、自動車事故発生時に、エアバッグ、GPS データ、運転者の移動状況をデータとして収集・分析し、運転者が動けなくなっているかを判断した場合、緊急連絡を自動的に行うシステムなどが提案されている。また、施設産業分野では、PC 実習室内の、PC の稼働状況データと人の在席データを収集し、PC が適切に使用されているかの管理を行うシステムなどが提案されている。また家電の状況をいつでもどこでもスマホから管理できるシステムや、IoT を利用した様々なシステムが提案されている。

しかし IoT 応用分野の拡大のための教育に関する報告は、ほとんど無かった。応用分野の事例の拡大に対しては、各分野の特徴に関連したアイデアの創出が重要である。また、IoT システムを簡略化したプロトタイプシステムを構築し、システムを実感することが IoT システム全体を理解する上で有効である。さらに学生は、構築作業によって IoT システムの特質を知り、それが基点となってシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。アイデアの創出は自らの専門分野に依存する場合が多いため、情報系以外の学生、例えば文系の学生の視点からも、ユニークなアイデアの創出を期待できる。

教育面では、IoT システムを構成する技術は情報系のカテゴリに属するため、情報系学生を対象にしたカリキュラムで要素技術の教育が実施されている。一方、IoT システムは、センサーネットワーク、情報処理技術などから構成される融合技術であるため、比較的容易に構築が出来るプロトタイプシステム構築が IoT システム全体を理解する上で有効である。さらに、構築作業が基点となってシステムのサービスについてのアイデアを創出させる教育が実施できる可能性がある。

IoT システムの構築は、複数の要素技術で構成されるため、全てを理解するのは困難である。しかし、理系文系を問わないプロトタイプシステム構築が可能な教育方法があれば、IoT システムの要素技術の詳細を理解していない情報系以外の学生にも IoT システムのア

アイデア創出の教育が可能となる。このような教育を通じて、ものづくりを学ぶとともに、アイデア創出という創造性の教育効果が期待できると考える。このことは、ICT教育を非情報系の学生にも適用できることになり、ICT 応用分野の拡大へと繋がっていくことが期待される。さらに、非情報系の学生から得られる IoT システムに関するアイデアは、情報系の学生の参考になることも期待できる。

また、プロトタイプ構築には、データ入出力対象デバイスのセンサとアクチュエータの配線、デバイス入出力データを取得し処理するプログラムの作成、デバイスとゲートウェア間の無線設定、デバイスとクラウド間でのデータ通信を制御するゲートウェイ機能の設定、そしてクラウド上でのデータ処理のステップがある。このうち、センサとアクチュエータの接続、コントローラのプログラム作成は、ものづくりの要素が多いため、教師の直接指導が必要である。同様に無線設定は、多くのパラメータによるソフトウェア設定になるため、教師の直接指導が必要である。もしこの支援を教師の代わりに行う仕組みを学生に提供することができるなら、自習型の IoT プロトタイプ構築が可能になる。そして学生は、自習結果や IoT システムのアイデアを、教師と学生が集まる授業で発表し、議論を行う、問題発見解決型学習の PBL (Problem Based Learning) 型の教育が可能となる。これにより、学生により深く IoT システムについて考えさせ、より現実的なアイデアに結びつくと考え。さらにプロトタイプ構築における教師の負担の軽減にも繋がると考える。

本研究では、IoT プロトタイプ構築というものづくり実習教育とアイデア創出を主体とした IoT システム教育を中心に、非情報系の学生でも IoT プロトタイプシステムの構築が、達成可能な、情報系・非情報系に非依存の IoT システム教育法や、教師不在でのプロトタイプ構築を行い、その結果を授業で発表し、議論することで、学生に自己の誤りや新しい気付きを誘発させる教育法の研究と実践を行った。また、各分野の学生への展開を働きかけるとともに、実際の業務に近い IoT システムのプロトタイプシステム構築による教育法を、企業技術者教育への研修で実施した。

1.2. 研究の目的

本研究の目的は、IoT システムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存な IoT システム教育法を確立することである。本目的を達成するために、情報系、非情報系の各分野の学生に対する IoT システム教育法を研究し、開発する。本研究は、各分野の学生に対して、IoT プロトタイプシステムを構築により、IoT システムの構築を実体験させる。そして実体験により得た知識を基に応用分野のアイデアを創出させる。また、自習によるプロトタイプ構築法により、学生に主体的にプロトタイプ構築を実施させる。その後の授業では、自習の結果を発表、議論することにより、学生に自己の誤りやその解決方法への気付きへと導く。また、創出したアイデアも発表し、議論することで、ブラッシュアップを図る。これらの開発した教育法の実践を行い、検証する。

具体的な研究テーマとして、以下の3件について研究する。

- 1) 文系学生への IoT プロトタイプ実装教育カリキュラムの提案と実践評価
- 2) 支援エージェントを用いた IoT プロトタイプの自己構築による IoT システム教育法の提案と実践評価
- 3) プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系非依存の IoT 教育への展開

各研究の概要を以下に述べる。

- 1) 文系学生への IoT プロトタイプ実装教育カリキュラムの提案と実践。

本研究では、IoT プロトタイプシステム構築を実習として行い、ものづくりの経験を通じて IoT システムを実感し、理解させる。そして IoT システムサービスのアイデアを発表・議論させる教育法を提案する。文系の学生でも構築が可能となる様に、構築を段階に分け、各段階を確実に完了してから次の段階に移行する方式を取った。また親しみやすい手順書を用意することで、学生が楽しく構築に臨めるようにする。

各学生の構築実習結果、および創出されたアイデアの内容を基に本教育法の考察を行う。また、段階的プロトタイプ構築の各構築段階終了後に、アイデアを出させた。このアイデア内容が、構築段階が進むに従い、どのように変化していくかに注目し、考察を行う。

- 2) 支援エージェントを用いた IoT プロトタイプの構築による IoT システム教育法の提案と実践

本研究では、自己学習で実施する IoT プロトタイプ構築と、その結果を授業で発表し、議論する PBL(Problem-based learning)型の授業で構成された IoT システム教育法の提案と、実践をについて述べる。教育対象は情報系の学生である。プロトタイプ構築は、WEB サービススペースの課題管理システムを用意し、学生は本システムに自己の PC からアクセスし、実習内容を認識して実習を行う。実習支援を行う機能を本システムに用意することにより、学生は実習でつまづいた際に、本システムにつまづいた内容を QA 方式で入力することにより、システムからヒントを受ける。そしてそのヒントから解決策を考え、実習を続ける。今回、本支援機能は、従来の実習授業で、教師支援が必要と考える、①電子部品の配線、②IoT デバイスプログラミング、そして③無線設定について用意する。授業では、構築実習の結果を発表、議論することによって、自分が解決できなかった問題に関する新たな気付きへと導く。本教育法を情報系の学生に適用し、各学生のプロトタイプ構築における自習での支援効果と、授業での発表と議論の結果、そして創出されたアイデアの内容を基に本教育法の考察を行う。

- 3) プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系に非依存の IoT 教育への展開

本研究では、これまで実践を行ってきた文系や情報系の学生に加え、農学系、工学

系（工学，電気，機械）を含めた全ての分野の学生が構築できるプロトタイプ構築法による教育を展開していく。

そのために IoT システム教育において，プロトタイプシステム構築技術を，デバイス技術，システム技術，応用技術の 3 つに分ける．そしてデバイス技術，システム技術については，学生のリテラシーに合わせて，接続方法のみ，機能，構造に分け，学習する深さを調整する．応用技術は，自分の専門分野での応用システムを考慮して，アプリケーション仕様を検討し，それを実現するに当たり，使用している既存のソフトウェアが適用できないかを検討し，より現実的な応用を考えさせる．このように情報系・非情報系の各分野に対応してカスタマイズできる IoT システム教育法を提案する．また，本方式をベースに各分野の学生への教育法を検討していく．また，展開の一つとして，農学系を題材にした IoT プロトタイプシステム構築による教育法を，企業技術者教育に適用し，実践を行う．

1.3. 論文の構成

本論文は 6 章から構成される．図 1.1 に各章と学術論文の対応を示す．

2 章では，IoT システム教育の関連研究と課題について述べる．具体的には，IoT システムの概要と基本構成，IoT システムの事例，IoT システム構築技術と課題，ものづくり教育の現状と課題について述べる．

3 章では，文系学生への IoT システム教育の提案と実践として，3.1 節では文系学生を対象に，自己の専門分野へのアイデア創出を目的とした IoT プロトタイプシステム構築実習を用いた文系学生への IoT 教育法について論じる．その際，プロトタイプ構築の達成度と，創出されたアイデアの内容で評価を論じる．3.2 節では，構築実習の各段階を通じて，創出されるアイデアの変化に注目して評価を論じる

4 章では，情報系学生を対象にした，自習による IoT プロトタイプシステムの構築と，その結果を授業で発表し，議論する PBL 型の授業をセットにした IoT システム教育法について論じる．

5 章では，3 章と 4 章で実践した結果を基に，情報系・非情報系に非依存の IoT プロトタイプシステム構築による IoT システム教育法について論じる．

6 章では，本研究の成果をまとめるとともに，今後の課題について論じる．

図 1.1 に各章と学術論文の対応を示す．

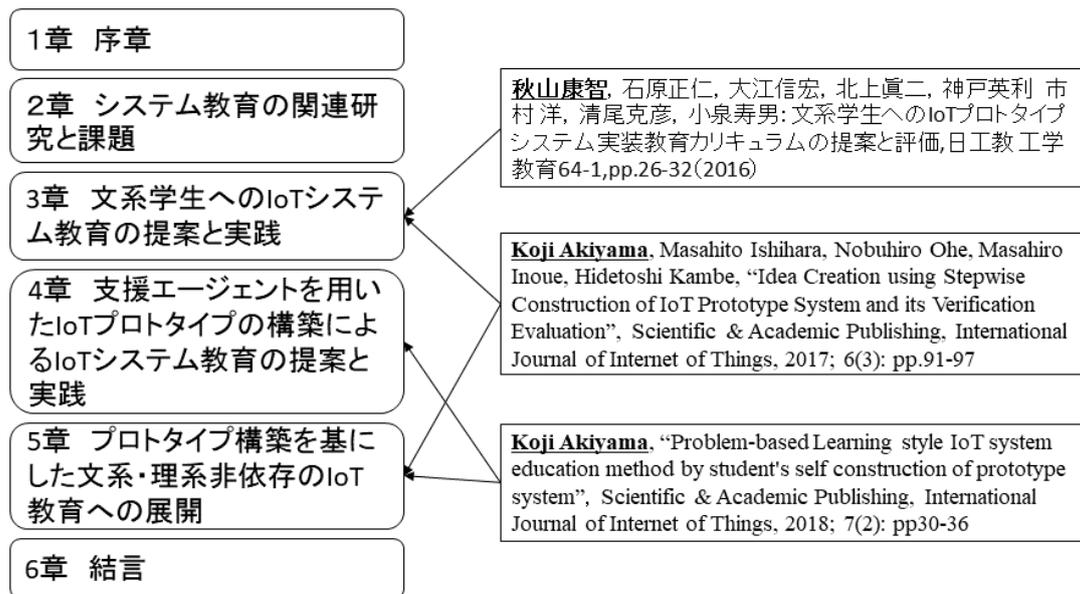


図 1.1 各章と学術論文との対応

2. IoTシステム教育の関連研究と課題

2.1. IoTシステムの概要

IoT (Internet of Things) は、システムは、センサを含む機器と機器の相互通信、および機器とクラウドのサーバが、ネットワークにより相互接続し、人間が介在することなく自動で収集したデータを送受信し、様々なサービスを提供するシステムである。近年、センサ機器の小型化、低コスト化、ネットワーク化、さらに、クラウドコンピューティングの発展に伴い、IoTシステムが注目を浴びている。またそれに伴いIoTシステムを基盤としたサービスが増加している。また、IoTデバイスとして適用可能な、スマートフォンやタブレットが世の中で多く使われていることも、多くの分野にIoTシステムが応用されることに加速をかけている [1-5]。

IoTシステムの基本構成を図2.1に示す。図において、IoTシステムは、IoTデバイスと、サーバ/クラウド、そしてIoTゲートウェイで構成される。IoTデバイスは、様々なセンサとアクチュエータを具備し、センサの取得情報をサーバ/クラウドに送信する。またサーバ/クラウドからの制御命令を受け、アクチュエータ制御を実施する。

サーバ/クラウドは、各センサからの情報を集積し、可視化・分析を行い、アクチュエータへの制御命令を生成する。IoTゲートウェイは、IoTデバイスが属するネットワークとサーバ/クラウドが属するネットワークを中継し、相互接続を行う。このようにIoTシステムはセンサ技術、ネットワーク技術、情報処理技術などの多岐にわたる技術から構成される。

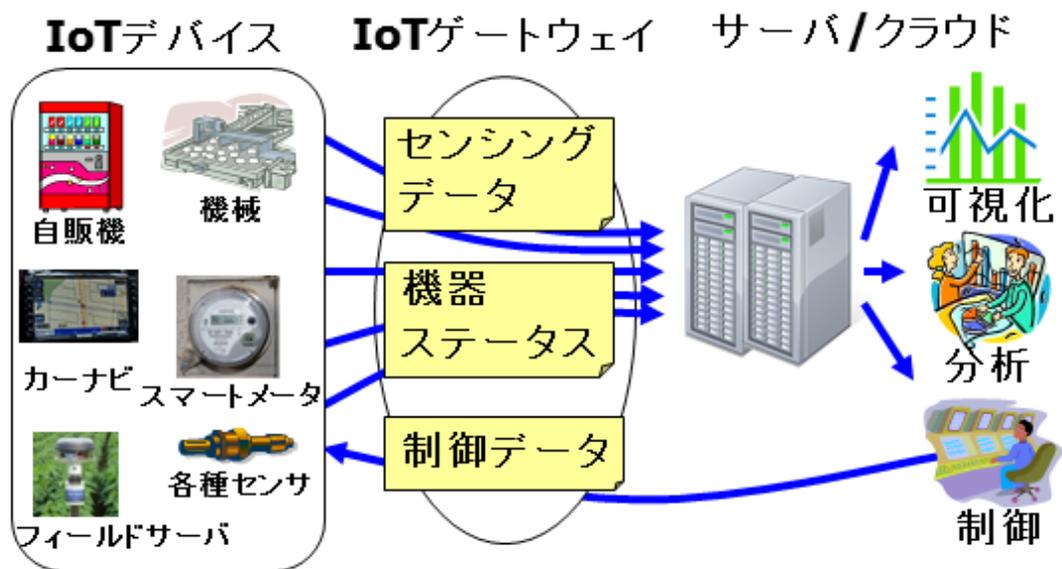


図 2.1 IoTシステムの基本構造

本論文で述べるIoTシステムとは、図2.1で示す様に、IoTシステムの基本的な構成要素を、デバイス、ゲートウェイ、サーバ/クライアントとそれら相互接続するネットワークとする。デバイスにはArduinoやRaspberry Pi等のマイクロコントローラを利用し、各種

センサやアクチュエータを接続し、センサ情報の取得やアクチュエータへの制御命令の送信などのデータ入出力処理を行う。ゲートウェイは、複数のデバイスを繋げたエリアネットワークなどの近距離通信網と、サーバクラウドを繋げたインターネット網の2つの異なるネットワークを中継する。これにより、デバイスから収集したデータをサーバクラウドに送信し、サーバ上に集積し、大型計算機による大規模データ処理が可能となる。その処理の結果、データに基づくフィードバックとしてデバイス上のアクチュエータ制御や、データを利用した分析、可視化等の様々な利用が可能となる。

2.2. IoT システムの応用事例

IoT システムは、工業、農業、施設産業、交通、流通、医療、福祉、教育などの多くの応用分野で活用されつつある。図 2.2 に ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ⑥にて提唱されている IoT システムの応用分野を記す。ここにある様に、主要な社会システムのほとんどが IoT システムの応用分野とされている。

IoT システムを応用したサービスは多種多様であり、それを機能面から分類すると、監視型、フィードバック型、データ活用型、混合型に分類される。監視型は、センサデータの収集を行うタイプであり、収集した結果をサーバ上で自動処理し、データが設定した閾値を越えた際に管理者に提示する機能を主体とする。フィードバック型は、監視型と同様に、センサデータの収集を行い、さらに収集結果を利用してシステムの状態をより良い状態に維持しようとするような機能を主体とする。データ活用型は、多量のセンサデータを収集し、分析とマイニングした結果を分かり易く可視化し、多くのユーザに提供する機能を主体とする。混合型は、これら3つのそれぞれの特徴を合わせ持つ。

IoT システムの応用は、いずれも人を介さないで自動的に作動するシステムとして実現することにより、低コストのシステムを実現することができる。また、従来取得することが

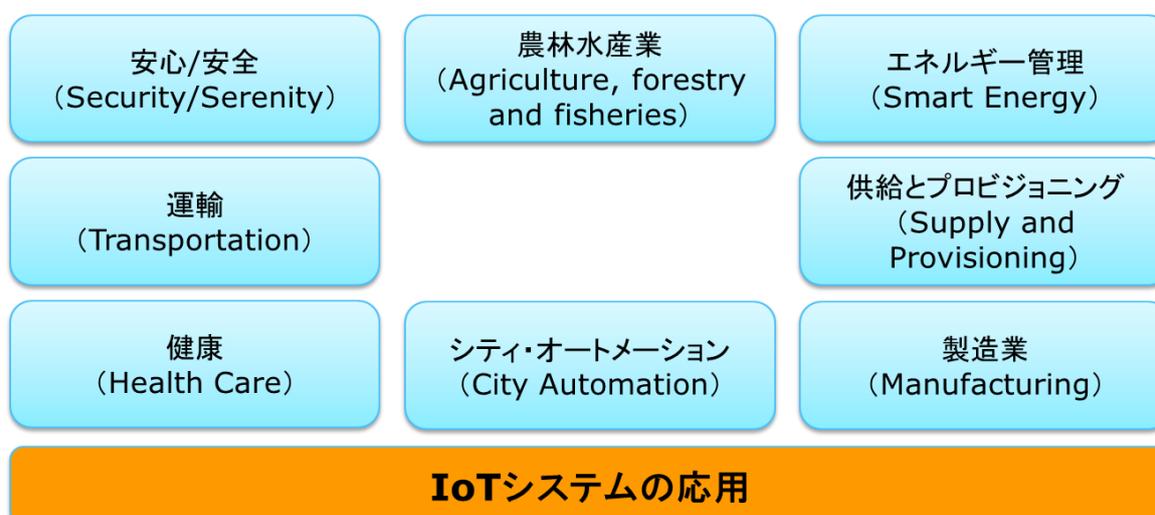


図 2.2 IoT システムの応用分野 (ETSI)

無かったデータを、センサを使用することにより自動的に収集することができ、それを利用することにより、従来に比較して効率の良いシステムや、新しい価値を持ったシステムを創造することができる。つまり IoT システムが普及するに伴い、IoT システムを応用したアイディアの創造が重要になってくる。以下に応用分野の例を述べる。

2.2.1. エネルギー管理分野の例

BEMS(Building and Energy Management System, 日本語では「ベムス」と読まれる)とは、「ビル・エネルギー管理システム」と訳され、室内環境とエネルギー性能の最適化を図るための IoT システムを応用したビル管理システムである⁷⁸⁾。FA (ファクトリー・オートメーション, Factory Automation) の対語として、BA(ビル・オートメーション, Building Automation) と呼ばれることもある。

BEMS は、IoT を利用して業務用ビルの照明や空調などを制御し、最適なエネルギー管理を行うもので、要素技術としては、図に示すような人や温度のセンサと制御装置を組み合わせたものである。

業務用ビルからの CO2 排出は日本の CO2 排出の 1 割程度を占めており、今後も増加が予想されることから、BEMS の導入は温暖化に対する有効な対策である。BEMS は低炭素社会をつくるために不可欠な技術として多くのビルへの採用が期待され、各種の CO2 排出量削減シナリオにも取り上げられている。例えば、2007 年 5 月に安倍首相 (当時) が発表



図 2.3 IoT システムの応用 (エネルギー管理分野 : BEMS)

したクールアース50では、世界全体の温室効果ガスを2050年までに半減することを目標としているが、それを具体化するための「Cool Earth –エネルギー革新技術計画」(2008年3月、経産省)の中にもBEMSが取り上げられている。

図2.3にBEMSの構成例を示す。BEMSは業務用ビル等、建物内のエネルギー使用状況や設備機器の運転状況を把握し、需要予測に基づく負荷を勘案して最適な運転制御を自動で行うもので、エネルギーの供給設備と需要設備を監視・制御し、需要予測をしながら、最適な運転を行うトータルなシステムである。具体的には、温度・湿度センサや、電機、ガス、水道等エネルギー消費センサ、空調や照明を自動的に制御する機器制御装置、これらの状況を見える化する表示装置などからなる。

2.2.2. セキュリティシステムの例

図2.4にIoTシステムのセキュリティ分野への応用例を記す。茨城県のJR佐和駅にて、電車が駅にいないときに、ホーム際の黄色い線より線路側に人や物体が侵入したことをAIが検知するセキュリティカメラの実証実験が行なわれた。AIが検知する割合の目標を検知率90%と設定したが、実験の結果は目標値を上回る96.2%を達成した。実証実験は2018年2月19日から3月2日の12日間で行われた。

「OPTiM Cloud IoT OS」で動作するAI監視カメラサービス「AI Physical Security Service(エーアイ フィジカル セキュリティ サービス)」を活用したもので、ライセンス販売・保守サポートサービス事業を手掛けるAI・IoT・ビッグデータプラットフォーム事業を展開している株式会社オプティム、交通関連のシステム業務を行うアイテック阪急阪神株式会社が主導した⁹⁾。「OPTiM Cloud IoT OS」とは、AIとIoTを繋ぐプラットフォームサービスである。パソコンのOSのような直観的なインターフェースを持ち、セキュアにIoT端末の管理・制御を行い、IoT端末より取得したデータの蓄積や分析、各種AIの活用、さまざまなクラウドサービスとの連携を可能とする。また、OEM提供含む新規プラットフォー

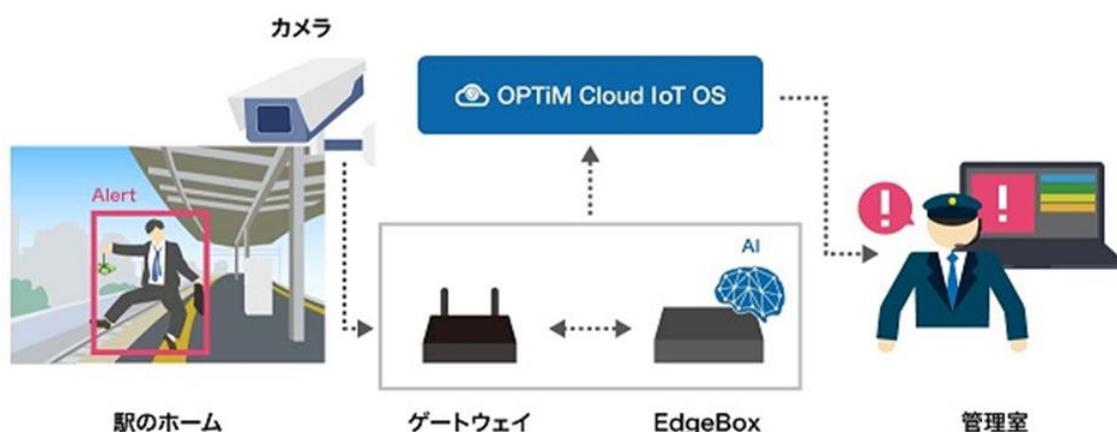


図 2.4 IoT システムの応用 (セキュリティ分野)

ムの立上げ、アプリケーション開発・販売の効率的な運用支援の提供を行えるサービスである。この「AI Physical Security Service」とは、「OPTiM Cloud IoT OS」で動作する AI 監視カメラサービスで、ネットワークカメラなどで撮影されている映像を AI がリアルタイムで監視を行い、異常を検知した際に監視モニター上にアラートを表示するサービスである。

また管理者へアラートメール送信を行うなど、監視者の負担を軽減するとともに業務の確実性を向上させることも期待できる。さらに、スピーカーなどを用いた情報告知やアラート通知を行うなど、モニター上のアラート通知だけではないさまざまな種類の注意喚起システムとの連携が行えるシステムである。

2.3. IoT の教育に関する関連研究と課題

IoT システムは、社会サービスとはじめとする応用分野への利用が、今後増々増えていく。IoT システム開発や解説に関しては、多くの研究が報告され、書籍も多数発行されている^{1)~7)}。これらは、IoT システムの構成要素に関するもの、システムへの適用に関する内容を主体としているものが多い。教育に関する関連研究は、教育に IoT システムを適用した内容が多く、IoT そのものの教育に関する研究はほとんど報告されていない。ものづくり教育の事例として、「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成 (enPiT)」¹⁰⁾では、多くの成果が報告されているが、ビッグデータ・AI 分野、セキュリティ分野、組込みシステム分野、ビジネスシステムデザイン分野にわかれており、IoT システムの教育は一部である。また対象は主として、情報通信分野の学生である。

また、IoT を構成する主要技術であるセンサ技術、ネットワーク技術、情報処理技術など複数の技術を修得しなければならないため、構築は容易ではない。アイデアがあっても、IoT プロトタイプ構築には至らず、アイデア倒れになることが多い。特に情報系以外の理工系学生や文系の学生には、アイデアがあっても IoT プロトタイプ構築はかなり困難である。

しかし応用分野の事例の拡大に対しては、各分野の特徴に関連したアイデアの創出が重要である。また、構造を簡略化したプロトタイプシステムを構築することが IoT システム全体を理解する上で有効である。さらに学生は、構築作業によって IoT システムの特質を知り、それが基点となってシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。アイデアの創出は自らの専門分野に依存する場合が多いため、情報系以外の文系の学生の視点からも、ユニークなアイデアの創出を期待できる。IoT システムに関するアイデアは、情報系学生の参考になることも期待できる。つまり情報系以外の学生にも IoT システム教育の必要性が生じてきている。

アイデアは、ブラッシュアップをしながら、実現性と有用性を上げていくものであるため、学生が創出したアイデアをベースに議論を行い、ブラッシュアップを図ることが重要である。しかし IoT システム教育における応用分野への教育に関する報告は、ほとんどされていない。

また、プロトタイプ構築実習には、教師の直接指導が重要である。教師は、IoT システム構築実習を行う場合、授業準備、実習中の学生への支援、実習後のフォローを確実に実施する必要があり、教師の大きな負担となっている。そのため、教師が指導できる学生数に制限が生じ、少人数での教育しかできなかった。

IoT 教育に関する関連研究と現状を以下にまとめる。

- ・ 技術に関する研究は活発にされている (ETSI 等)
- ・ IoT の教育に関する研究は少ない。
- ・ IoT システムは、情報系学生を対象にした教育が主体であり、非情報系の学生への教育は、ほとんどされていない。
 - ・ IoT システムは、複数技術の横断的なシステム技術であり、主要技術の範囲が広く、難しい。
- ・ システムを実感するためには、ものづくり教育が有効であるが、ほとんど実施されていない。
 - ・ ものづくり教育には、事前準備、授業中、事後フォローにおける教師の負荷が高い。
 - ・ 1 人の教師が指導できる学生数には制限がある。

図 2.5 に、上記現状に対し、IoT 教育として解決すべき課題を記す。図において、IoT システム技術の現状として、技術的に広範囲で難しく情報系以外の教育法が無い。また、IoT システム応用の現状として、システムを理解するためには、プロトタイプ構築というものづくり教育が有効であるが、ほとんどなされていない。IoT 構築教育の現状として、ものづくり教育は、教師が直接支援する必要があり、そのため教師の負荷が大きく、指導できる学生数に制限がある。

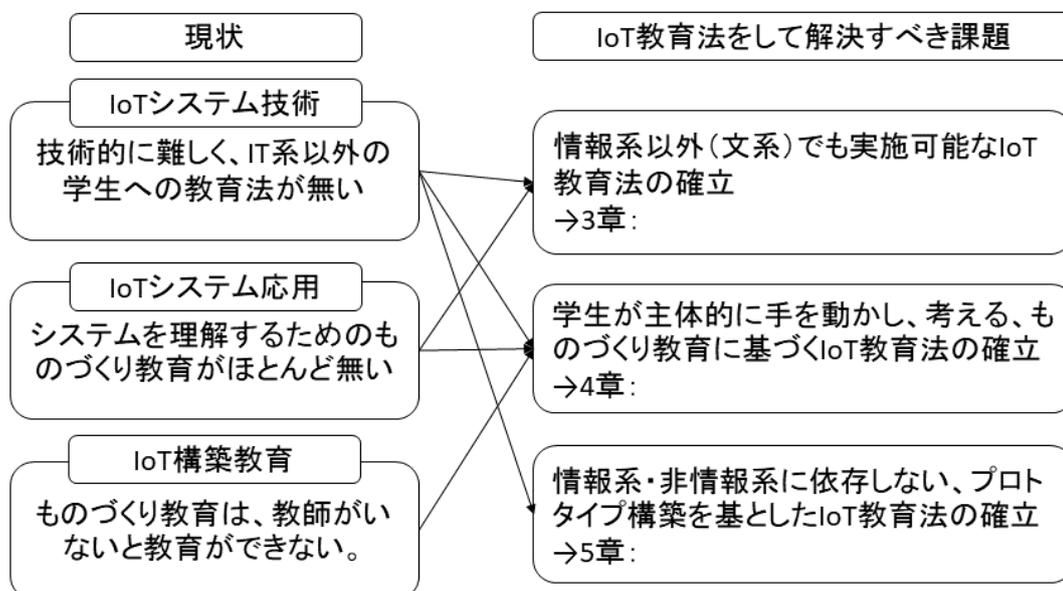


図 2.5 IoT システム教育の現状と課題のまとめ

これらの課題を解決するためには、まず、情報系以外の文系でも理解可能な IoT 教育法策定し、実施する必要がある。また、学生が主体的に手を動かし、考えながら作業を行う、ものづくり教育に基づく IoT 教育法を策定し、実施する必要がある。さらに情報系・非情報系に依存しない、IoT プロトタイプ構築に基づいた IoT 教育法を策定し、実施する必要がある。

3. 文系学生への IoT システム教育の提案と実践

本研究の目的は、1章で述べた通り、IoT システムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存な IoT システム教育法を確立することである。本目的を達成するために、本章では、最も情報系リテラシーの低い文系学生でも実施可能な IoT システム教育を開発することを目標とする。

IoT システムを理解するためには、IoT システムの各構成要素を簡略化したプロトタイプシステムの構築を指導することが有効である。学生は構築作業により、IoT システムの特質を知り、システムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。

本研究では、IoT プロトタイプシステム構築を実習として行い、ものづくりの経験を通じて IoT システムを実感し、理解させる。そして IoT システムサービスのアイデアを発表・議論させる教育法を提案する。文系の学生でも構築が可能となる様に、構築を段階に分け、各段階を確実に完了してから次の段階に移行する方式を取った。また、手順書を分かり易い様に作成した。

我々は本 IoT システム教育法を幼児教育系の学生に実践を行った。

3.1. 文系学生への IoT プロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と実践

IoT システムは、センサ、ゲートウェイ、およびクラウド上のサーバが、ネットワークにより相互接続し、自動的に収集したデータを送受信して、様々なサービスを提供するシステムである。

IoT システム技術の構成要素は、IoT 分野の技術者教育という点から見ると、情報系のカテゴリに属する。しかし IoT システムの構成要素の組み立てが比較的容易にできれば、その教育を行うことにより、文系の学生にも IoT プロトタイプシステムの構築が可能になると考える。そして、学生がこの構築経験を活かして、文系の専門分野に関連したアイデアを創出することが期待できる。このアイデア創出は、IoT 分野と関連の薄い人たちを含めた各専門分野の応用分野が広がっていくことに繋がると考える。本章では、文系の学生でも達成可能な、IoT プロトタイプシステムの構築とアイデア創出を目的とする教育カリキュラムを提案する。本研究では、本カリキュラムを幼児教育・保育系の学生の講義に適用し、実践を行った。

3.1.1. はじめに

IoT (Internet of Things) システムは、センサを含む機器と機器の相互通信、および機器とクラウドのサーバが、ネットワークにより相互接続し、人間が介在することなく自動で収集したデータを送受信し、様々なサービスを提供するシステムである¹⁾²⁾³⁾。近年、センサ機器の小型化、低コスト化、ネットワーク化、さらに、クラウドコンピューティングの発展に伴い、IoT システムを基盤としたサービスが増加している。また、IoT デバイスとして適

用可能な、スマートフォンやタブレットが世の中で多く使われていることも、IoTシステムの増加に繋がっている⁴⁾。

教育面では、ICT(Information and Communication Technology)の分野における、IoTシステムを構成する技術は情報系のカテゴリに属するため、情報系学生を対象にしたカリキュラムで要素技術の教育が実施されている。一方、IoTシステムは、センサーやゲートウェイ、それらを接続するネットワーク技術、そして収集されたデータを処理する情報処理技術などから構成される融合技術であるため、比較的容易に構築が出来るプロトタイプシステム構築がIoTシステム全体を理解する上で有効である。さらに、構築作業によってIoTシステムの特徴を知り、それが基点となってシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。

また、学生の創造性を育てることを目的とした創造科目に対して、情報系の学生を対象とした様々な取り組みが行われている⁵⁾⁶⁾。アイデアの創出は自らの専門分野に依存する場合が多い。IoTシステムのアイデアに関しては、情報系以外の文系の学生の視点からも、ユニークなアイデアの創出を期待できる可能性があると考ええる。

IoTシステムの構築は、複数の要素技術で構成されるため、全てを理解するのは困難である。しかし、プロトタイプシステム構築が可能な教育方法があれば、IoTシステムの要素技術の詳細を理解していない情報系以外の学生にもIoTシステム構築の教育が可能となる。このようなIoTシステムの理解を通じて、ものづくりを学ぶとともに、アイデア創出という創造性の教育効果が期待できると考える。このことは、ICT教育を文系の学生にも適用できることになり、ICT応用分野の拡大へと繋がっていくことが期待される。さらに、文系の学生から得られるIoTシステムに関するアイデアは、情報系学生の参考になることも期待できる。

本研究では、文系の学生でも達成可能な、IoTプロトタイプシステムの構築とアイデア創出を目的とする教育カリキュラムを提案する。本カリキュラムは、IoTシステムをIoTデバイス、IoTゲートウェイ、ネットワーク、およびクラウドの4つの構成要素に分け、各

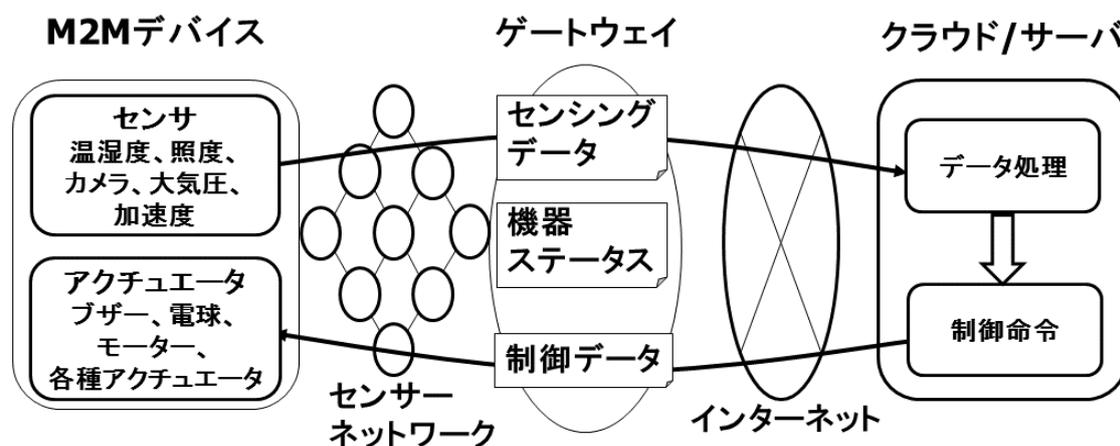


図 3.1 IoTシステムの基本構成

要素の機能要点を知り、手順書に従って、段階的に IoT プロトタイプシステムの構築を行う方法をとる。構築に当たっては、IoT プロトタイプシステムを用いた、ものづくり実習を主体とする。本カリキュラムでは、最初に IoT システムの基礎知識を学習させ、次にものづくりを行い、その後で、IoT システムを使用したサービスのアイデア創出を行う。本研究では、本カリキュラムを文系の教育系学生の授業に適用し、その評価を行った。

3.1.2. IoT システムの特質とプロトタイプシステム

(1) IoT システムの特質

IoT システムの典型的な基本構成、およびデータの流れを図 3.1 に示す。図において、IoT デバイスはセンサによって取得したセンシングデータを、センサーネットワークを介して IoT ゲートウェイに送信する。IoT ゲートウェイはセンシングデータを、インターネットを介してクラウドに送信する。センシングデータは、クラウド上で処理され、IoT ゲートウェイを介して IoT デバイスのアクチュエータを動作させる。このように IoT システムは複数の要素が連携し合うことにより、有用なシステムとして成立する。

(2) IoT プロトタイプシステム

IoT システムを構築するには、システムを構成する要素技術を理解し、システムとしての設計を行う必要があるため、その作業は工学的技術基盤に基づいた作業である。

しかしながら、IoT システムの各構成要素を簡略化して、組み立てたプロトタイプシステムならば、文系の学生にとっても構築の可能性があると考えられる。IoT プロトタイプシステムの構成を図 3.2 に示す。基本構成は、センサ/アクチュエータを含む IoT デバイス、ゲートウェイ、ネットワーク及びクラウド/サーバで構成される。学生は、この構成をものづくり実習によって組み立てる。IoT システムの構築を容易に実現させるためには、各構成要素の外部仕様と要素間インタフェースを明らかにし、要素の内部詳細はブラックボックス化する。すなわち、IoT 構成要素に関する詳細な専門知識が無くとも、その組合せを考慮することにより IoT システムを構築することができるようにする。

このようにすることで、文系の学生は IoT のしくみの概要を学習し、プロトタイプシステムの構築を体験することができる。そして、大学で学んだ専門分野の知識をもとに、日頃見聞き経験したことから、IoT の活用についてのアイデアを創出できると考える。

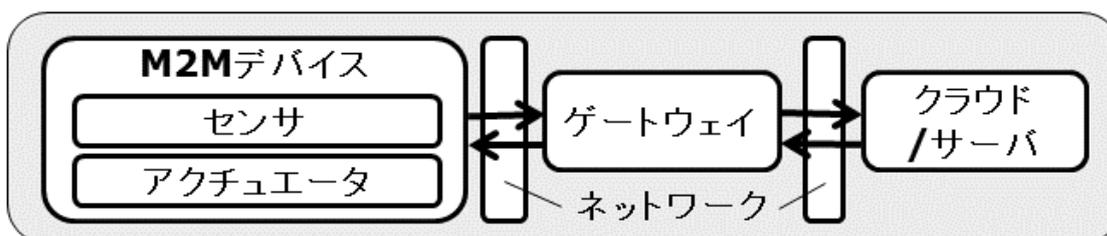


図 3.2 IoT プロトタイプシステムの構成

3.1.3. IoT プロトタイピング教育カリキュラムの提案

本章では、文系の学生でも達成可能な、IoT プロトタイプシステムの構築によるものづくりの体験からのアイデア創出を狙いとする教育カリキュラムを提案する。

本カリキュラムの主体となる IoT プロトタイプシステム構築においては、IoT プロトタイプの素材として、オープンハードウェア、オープンソフトウェア、および現在広く使用されているネットワークインタフェースを構成要素として使用する。また、各要素を組み立てていくための手順書を作成し、学生に提供する。

IoT プロトタイプ基本構成を図 3.3 に示す。プロトタイプの各要素構成を図 3.3(a)に示す。

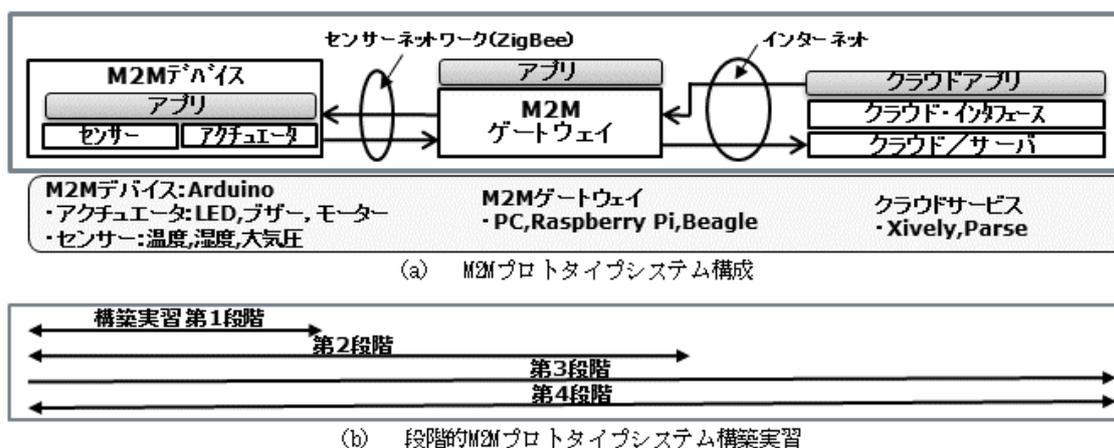


図 3.3 教育用 IoT プロトタイプ基本構成

IoT プロトタイプシステムは、IoT デバイス、センサーネットワーク、IoT ゲートウェイ、およびクラウド/サーバで構成される。IoT デバイスは、センサとアクチュエータで構成し、オープンハードウェアである Arduino⁷⁾や Raspberry Pi⁸⁾を使用する。アクチュエータは、その動作を容易に確認できる LED、ブザー、モーター等を、センサは、扱い易い温度、湿度、大気圧センサを使用する。センサーネットワークは、無線機器として安価で入手し易い ZigBee⁹⁾を使用する。IoT ゲートウェイは、IoT デバイス側ネットワークとクラウドネットワーク側のゲートウェイとして機能できる PC、または Raspberry Pi を使用する。クラウドサービスとしては、無料で使用でき、かつ初心者でも扱い易い Xively¹⁰⁾、または、Parse¹¹⁾を使用する。

本構成に合わせて、その構成要素を追加しながら実習を行う段階的な IoT プロトタイプシステム構築実習を図 3.3(b)に示す。図において、システム構築の第 1 段階は IoT デバイス上のセンサとアクチュエータの範囲とする。第 2 段階は、IoT デバイス、センサーネットワークと IoT ゲートウェイの範囲とする。第 3 段階は、第 2 段階の構成に、インターネット

トとクラウド/サーバを追加した範囲とする。第 3 段階では、IoT デバイス上のセンサが取得した値が、IoT ゲートウェイを経由し、クラウド/サーバ上に送信されたことを確認する。第 4 段階では、クラウドに送られたセンサデータの値から、アクチュエータへの制御命令を作成し、それを IoT デバイス上のアクチュエータに送り、命令を実行することを確認する。

本研究では、図 3.3(b)に示した段階的構築実習を教育カリキュラムの骨格とする。本教育カリキュラムの基本構成を表 3.1 に示す。表において、本カリキュラム基本構成は、①知識習得、②段階的システム構築実習、③アイデア創出の 3 つで構成する。

①知識習得では、情報処理技術の基本事項、および IoT システムの構成要素、サービスの例などの基本知識を習得させる。

②段階的システム構築実習は、図 3.3(b)に示した様に要素構成を段階的に追加して、IoT プロトタイプシステムを構築する。

第 1 段階実習では、ものづくりを体感させる狙いとして、センサとアクチュエータ等の電子部品とジャンパー線を用いて、基板上に回路を作成する実習を含める。この回路作成では、各種電子部品やジャンパー線をボードの穴に差し込み、はんだ付けは行わずに回路を作成できるブレッドボードを使用する。そして、ブレッドボードと Arduino の接続を行い、

IoT デバイスを作成し、IoT デバイス上で、プログラムを動作させ、センサが取得した値を確認する。

第 2 段階実習では、IoT デバイスとセンサーネットワーク、および IoT ゲートウェイで構成されたシステムを構築する。IoT ゲートウェイは Windows PC 上に実装し、この上でプログラムを動作させて、IoT ゲートウェイから送信されたセンサが取得したデータのグラフ表示を行う。IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間の通信は、無線である ZigBee を使用する。

第 3 段階実習では、IoT デバイスからクラウドまでのシステムを構築する。構築に際し、まず、クラウドである Xively のアカウント登録及びデバイス設定を行う。そして、プログ

表 3.1 IoT プロトタイプ教育カリキュラム基本構成

		カリキュラム内容
① 知識習得		IoT システムの基本知識
② 段階的システム構築実習	第 1 段階	IoT デバイスの製作と動作確認 ・ブレッドボードによる回路の作成と、センサが取得した値の確認
	第 2 段階	IoT ゲートウェイへのセンサデータ転送 ・IoT ゲートウェイ上でのセンサデータのグラフ表示
	第 3 段階	センサデータのクラウド送信 ・クラウドの設定とクラウドに送ったデータの確認
	第 4 段階	クラウドデータを IoT デバイスにフィードバック ・クラウドに送ったセンサデータの値によるアクチュエータの制御
③ アイデア創出		IoT プロトタイプシステム構築実践後の IoT 適用アイデア創出。

ラムを IoT ゲートウェイ上で動作させ、クラウドにセンサデータを送信する。クラウド上に送信したデータは、スマートフォンや PC のブラウザから確認する。

第 4 段階実習では、クラウドに送信したデータの値により、アクチュエータへ命令を送信するシステムを構築する。そして、クラウド上のセンサデータ値が、閾値を越えた場合、アクチュエータが動作することを確認する。

各回の授業には、学生に手順書を提供し、具体的な作業内容とゴールを明示することで、学生が何をどこまで実施すれば良いかが明確に分かるようにする。

また、今回の実習で使用するプログラムは、文系のプログラム作成経験の無い学生には、教師が事前にプログラムを用意し、学生はそのプログラムを開発環境に導入するまでの作業を実習内容とする。プログラム作成経験のある学生には、プログラム作成を実習に含める。各回の授業の最後に学生たちに、実習達成度を 6 段階で自己評価したアンケートを提出させる。教師はその内容をもとに、次回の授業内容を再検討し、問題点に対する対応策を実施する。

③アイデア創出は、構築実習を通じて、自分の専門分野に関係した IoT システムのアイデアを創出させる。授業の中で各自アイデアを発表させ、他者のアイデアを聞くことで、新しい気付きを誘発させる。

3.1.4. IoT プロトタイピング教育カリキュラムの実践

(1)カリキュラムの適用

本研究では、本カリキュラム実施を、こども教育宝仙大学¹²⁾の授業にて行った。本学は、幼稚園教諭、保育士を養成する幼児教育・保育系の学部で構成されており、その授業カリキュラムでは、児童心理学や教育学等の教育系授業が主体である。情報系の選択科目である「暮らしの中のコンピュータ」という全 15 回の情報学の授業のうち、11 回を IoT プロトタイピング教育に割当て、実施した。受講生総数は 12 名で、1 年から 4 年まで混在していた。これを 3 つのグループに分け、グループごとに実習を行った。

学生に配布する手順書の実習手順は、授業での順番に合わせることで、授業後に本資料を見直すことにより、実習作業の復習ができるようにした。特にブレッドボードによる回路の作成については、ブレッドボードのどの座標に、何を配線するかを、明確に記載した。

また、パワーポイントで、絵や写真を多用することで、誤りを防止するとともに、イラストのデザインテンプレートを使用することで、親しみ易くした。

(2) カリキュラムの実践

表 3.1 の IoT プロトタイプシステム教育カリキュラムの基本構成をもとに、本授業に適用したカリキュラムを表 3.2 に示す。②段階的システム構築実習では、第 1 段階から第 4 段階まで各段階につき、それぞれ 2 回の授業を実施する。第 2 段階における IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間の接続は、まず有線の USB で実施し、実習が一通り終了した「第 10 回

授業」にて、ZigBee による無線接続を行うことにする。これは、ZigBee を使用する場合、作成する回路が USB を使用した場合よりも複雑化するため、ブレッドボードの配線に学生が慣れた「第 10 回授業」で実施するのが適当であると判断したことによる。

表 3.2 適用した IoT プロトタイプ構築カリキュラム

授業回数	カリキュラム内容	
到達目標	IoT プロトタイプシステムの構築を通じて、IoT システムを理解する。また身近な分野で IoT を活用・提言できる視点を持つ。	
第 1 回	①知識習得 ・目的：IoT システムの基本知識の習得と IoT プロトタイプシステム構築に必要な知識の習得	
第 2 回	② 段 階 的 シ ス テ ム 構 築 実 習	第 1 段階 1 日目 ・目的：IoT デバイスの製作と動作確認 ・実施内容 ・ブレッドボード上にセンサとアクチュエータの配線，IoT デバイス (Arduino) との接続 ・使用部品：センサ：温度，照度 ：アクチュエータ：LED，ブザー ：IoT デバイス：Arduino
第 3 回		第 1 段階 2 日目 ・実施内容：プログラムの動作によるセンサデータの標示 ・開発環境：Arduino 開発環境
第 4 回		第 2 段階 1 日目 ・目的：センサデータの IoT ゲートウェイへの送信 ・実施内容：センサデータを IoT デバイスから，USB (有線) を介して IoT ゲートウェイへ送信 ・使用部品：IoT ゲートウェイ (WindowsPC) ・開発環境：Processing 開発環境
第 5 回		第 2 段階 2 日目 ・実施内容 ・IoT デバイスから，IoT ゲートウェイに送信されたセンサデータのグラフ表示
第 6 回		第 3 段階 1 日目 ・目的：センサデータのクラウドへの送信と確認 ・実施内容：クラウドのアカウント登録，デバイス設定 ・使用部品：クラウド：Xively
第 7 回		第 3 段階 2 日目 ・実施内容 ・プログラムの動作によるセンサデータのクラウドへの登録とクラウドに送ったデータの確認 ・開発環境：Processing 開発環境
第 8 回		第 4 段階 1 日目 ・目的：クラウドデータを IoT デバイス上のアクチュエータにフィードバック ・実施内容 ・クラウドに送るセンサデータを変化させて，アクチュエータであるブザーや LED の動作を確認 ・開発環境：Processing 開発環境
第 9 回		第 4 段階 2 日目 ・第 8 回の予備日
第 10 回		第 2 段階 (無線接続) ・目的：IoT デバイスとゲートウェイ間の無線化 ・実施内容：プログラムの動作による ZigBee 無線通信確認 ・使用部品：無線モジュール (ZigBee) ・開発環境：Arduino 開発環境，Processing 開発環境
第 11 回		アイデア創出 ・構築実習を通じてものづくりを実践した経験に基づき，身近な分野に関する IoT システムのアイデアの創出。



図 3.4(a) 手順書 (表紙)

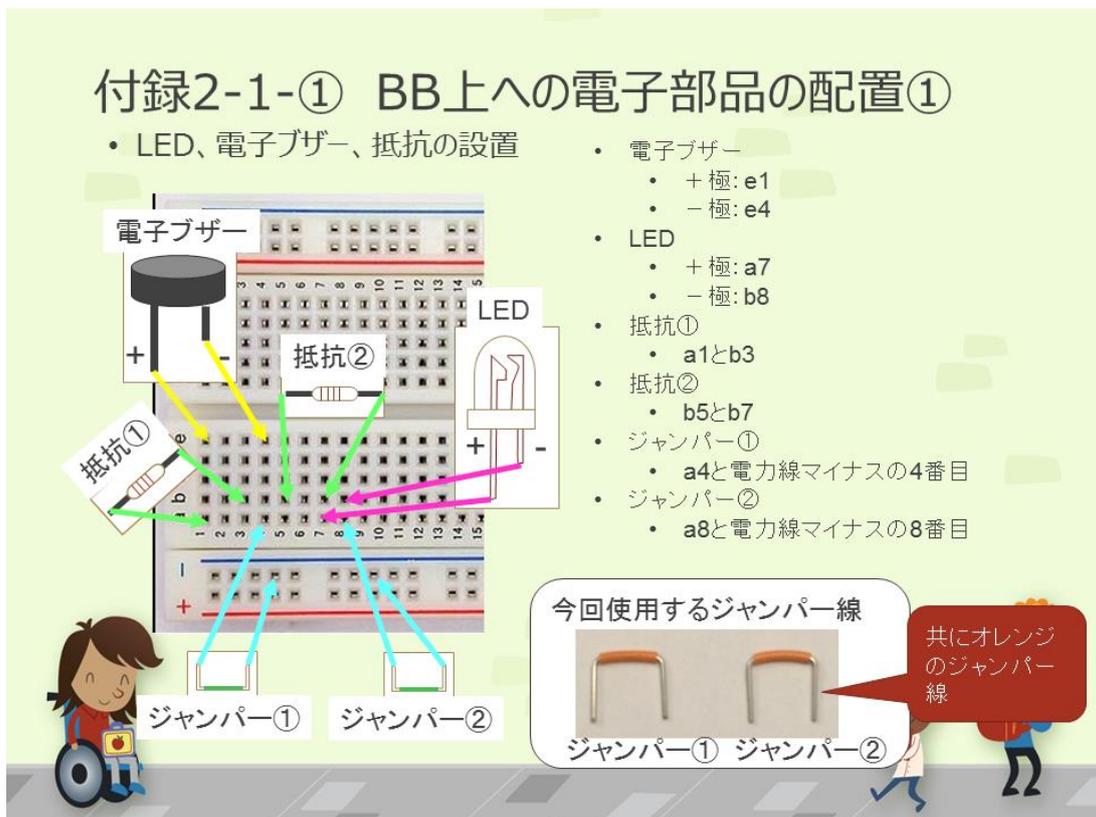


図 3.4(b) 手順書 (電子部品の配線)

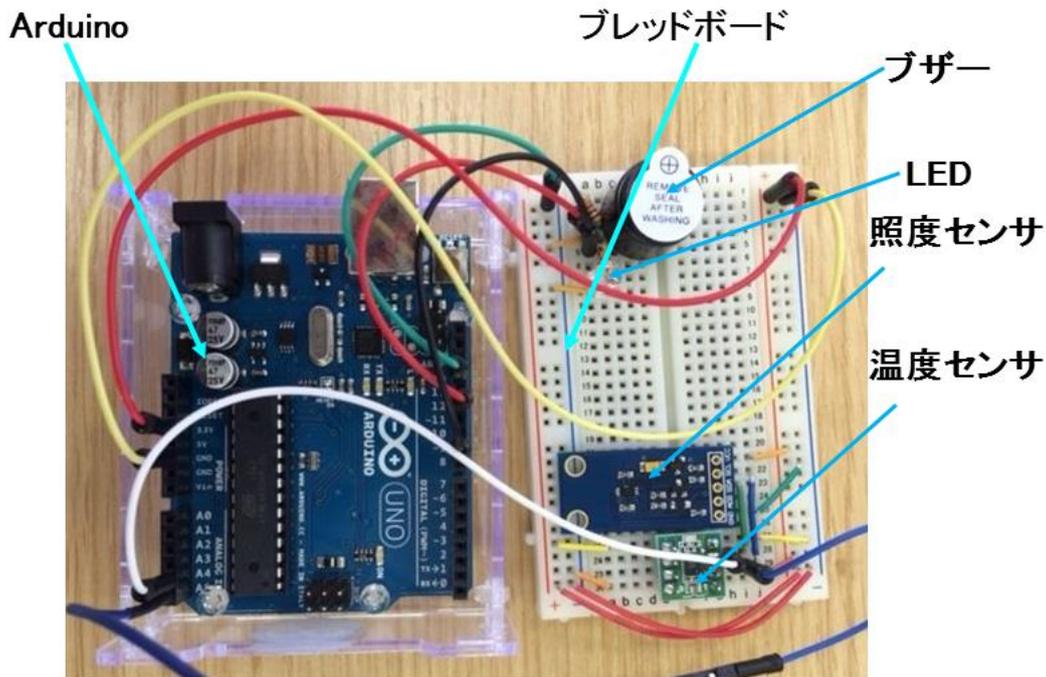


図 3.5 学生が配線した基盤

表 2 に示したカリキュラムを実践した際の各授業における状況と学生の特徴的所見を以下に述べる。

「第 1 回授業」では、①知識習得として、IoT システムの基本知識と IoT プロトタイプシステム構築に必要な基本知識を教えた。

「第 2 回授業」から「第 10 回授業」までを、②段階的システム構築実習に割り当てた。

「第 2 回授業」では、第 1 段階の 1 日目として、まず電池、LED、抵抗の単純な回路をブレッドボード上に作成する練習を行った。センサとアクチュエータを配線し、回路を作成した。使用した手順書の例を図 3.4 に示す。図 3.4(a)は、手順書の表紙であり、マンガ風の背景を用いて、学生に親しみやすいものとした。図 3.4(b)は、ブレッドボードの配線方法を記している。配線位置を具体的に指定することで、ほとんどの学生が作業を完遂できた。本授業で作成した基板を図 3.5 に示す。ブレッドボード上に、センサとして、照度、大気圧センサを配置し、アクチュエータとして、ブザーと LED を配置した。そして、それぞれを配線したブレッドボードと Arduino と接続し、IoT デバイスを作成した。

「第 3 回授業」では、第 1 段階の 2 日目として、Arduino 上でプログラムを動作させ、センサが取得した値を確認することができた。学生は、照度センサをハンカチ等で覆ったりすることで、取得した値が変化することに興味を持った。また、Arduino と PC との接続ポートの番号の確認方法を事前に説明していなかったため、手順書の例として記載されている接続ポート番号をそのまま設定し、通信に失敗する学生がいた。

3.4.実行手順と結果の確認方法 (5)

実行ボタンを押すと、以下のグラフが表示される。



図 3.6(a) 手順書 (ゲートウェイでのグラフ表示)

「第4回授業」と「第5回授業」は、第2段階の1日目、および2日目として、センサデータのIoTゲートウェイへの送信を実施し、Processingプログラムによるセンサデータのグラフ標示まで実施することができた。図3.6(a)は、本授業で使用した手順書である。ここでは、センサで取得した値をProcessingプログラムでグラフ化した絵を示し、確認対象の具体化を図った。学生はセンサ取得値のグラフ化に対し、結果が視認できることに感動し、また、照度センサにハンカチをかぶせて暗くすることで、グラフに変化が起ることに興味を持った。

「第6回授業」では、第3段階の第1日目として、クラウド(Xively)の設定を行った。Xivelyのホームページにログインし、設定を行ったが、表示が全て英語であったため、作業が進まなかった。そこで、教師がフォローしたが、時間内に完了できない学生がいた。

「第7回授業」では、第3段階の2日目として、クラウドへのセンサデータの送信と確認を実施した。図3.6(b)は、使用した手順書である。ここでは、クラウドでの確認対象を具体的に記した。学生は、クラウドに登録したデータをPCや自分のスマートフォンで確認できたことに対して、感動している様子であった。

「第8回授業」と「第9回授業」では、第4段階の1日目、および2日目として、センサの値が閾値を越えた場合、アクチュエータであるブザーやLEDが動作するプログラムの導入を実施した。学生は、照度センサに布をかぶせた状態から、取り除くことにより、照度

6.4.実行手順と結果の確認方法(12)

Xivelyにアクセスすると、センサの値をみることができる。

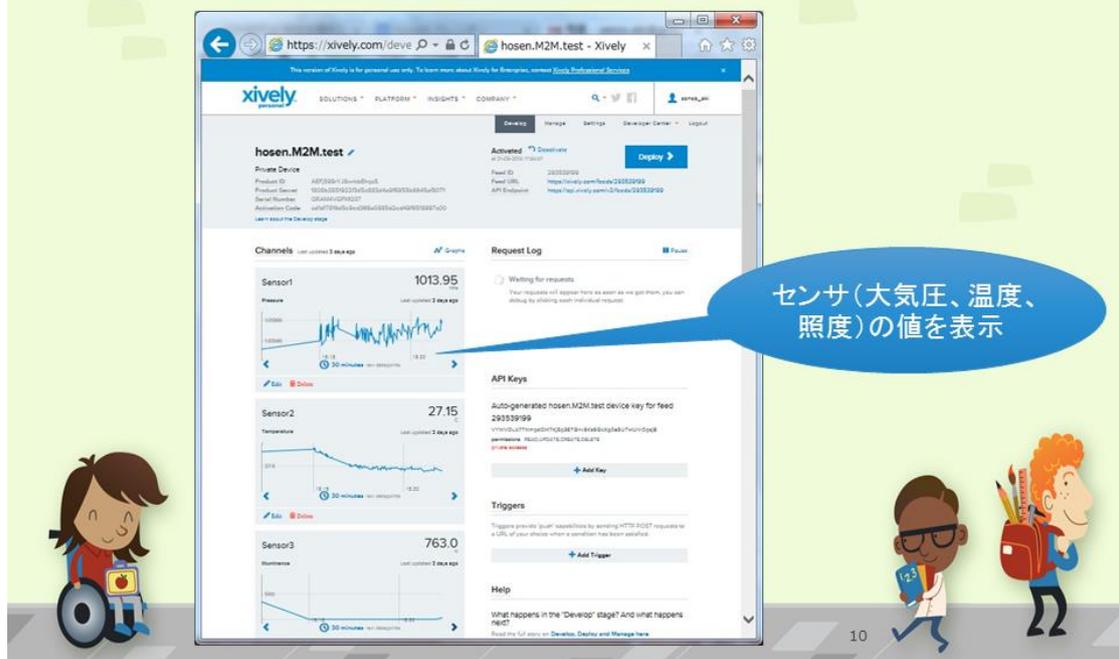


図 3.6(b) 手順書 (クラウドの表示)

値が閾値越えた際に、LED が点灯し、ブザーが鳴動することについて、驚きの表情で実習に取り組んでいた。また、ブザーは、プログラムで「ドレミファソラシド」を鳴動させたが、音階の指定方法を教えたところ、自らプログラムを書き換え、「カエルの歌」を鳴動するようにした学生がいた。

「第 10 回授業」では、IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間の接続を USB から、ZigBee に変更し、無線通信を体感させる目的で実習を行った。教師が予め対になる ZigBee デバイスをペアリングして学生に配布し、学生には ZigBee を付加した IoT デバイスの配線と、プログラムの動作を確認させた。図 3.6(c)は、使用した手順書である。プログラムの確認では、学生に IoT デバイスを自分の好きな場所に移動させ、センサの値を自分の PC やスマートフォンで確認させた。しかし学生にとって無線通信は、WiFi 等日常的に使用していることもあり、特に大きな反応は無かった。

「第 11 回授業」では、これまでの実習を通じて学習した IoT システムを利用したアイデアの創出を行った。アイデア創出は、②段階的システム構築実習での各段階の実習終了時に、IoT システムを用いたアイデアを考えてくることを宿題とし、次の授業で提出させた。本授業では、これまで創出してきたアイデアから、学生自身が選択したものを発表させ、ディスカッションを行った。

付録6-1-② BB上への電子部品の配置(2) XBeeの接続

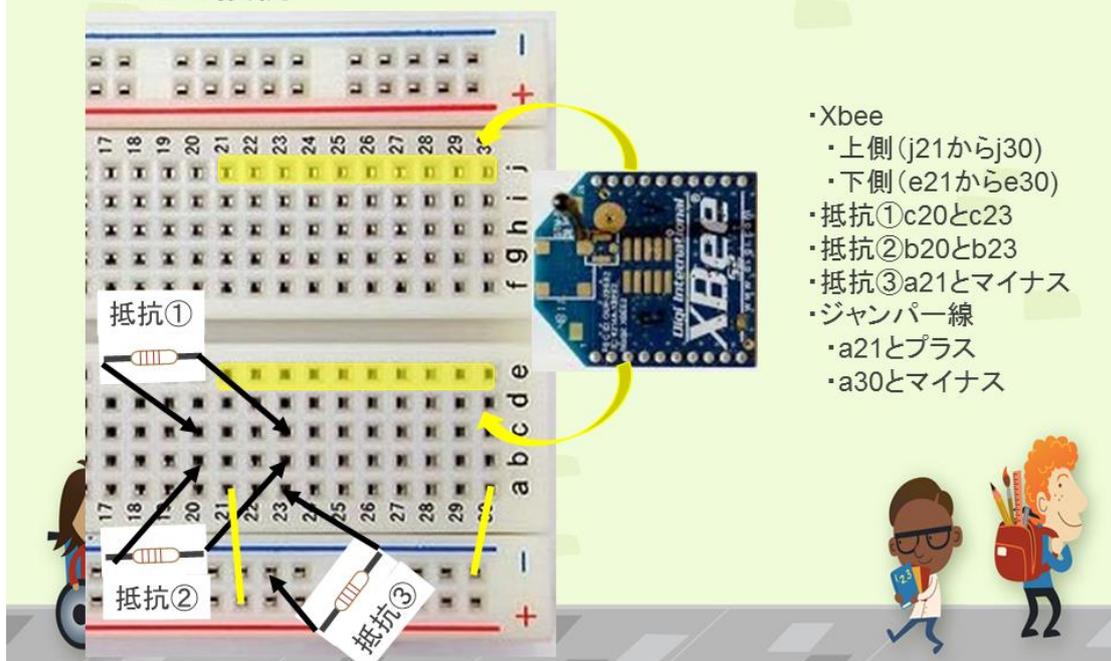


図 3.6(c) 手順書 (有線から無線の変更)

3.1.5. 考察

IoT プロトタイプシステム構築の達成度と、本実習を通じて創出した IoT システムのアイディア内容を基に本教育法の考察を行った。

(1) 達成度に関する考察

達成度に関する考察は、本授業の教師の判断結果と学生の自己判断をもとに実施した。

表 3.3 に授業の各回の達成度についての学生の自己判断と、教師の判断を示す。表において、学生の自己判断は、各授業の最後に、手順書に記載している実施内容に対し、自己の達成度を、0%、20%、40%、60%、80%、100%の6つから選択させた結果を用いた。また、教師の判断は、3.1.4章で示した授業カリキュラムの結果と各授業での学生の特徴的所見をベースに達成度を%で表わした。また、図 3.7 に学生の判断の分布を示す。図において、100%達成したと判断したのが、17% (2名)、80%達成が7名 (58名)、そして60%達成が3名 (25%) となった。全11回の授業を通じての達成度は、教師は75%、学生は78%と、学生のほぼ同じ値となった。

表 3.3 実習達成度の結果（人数）

達成度	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回	第 5 回	第 6 回	第 7 回	第 8 回	第 9 回	第 10 回	第 11 回	全体
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	3	2	0	1	1	0	0	0	1	0
60%	0	3	3	3	5	5	5	0	1	2	0	3
80%	3	2	3	4	5	5	5	7	7	4	6	7
100%	7	5	0	3	2	2	1	3	4	4	5	2
100% + α	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
教師評価	80%	70%	60%	70%	70%	65%	70%	80%	70%	70%	80%	75%

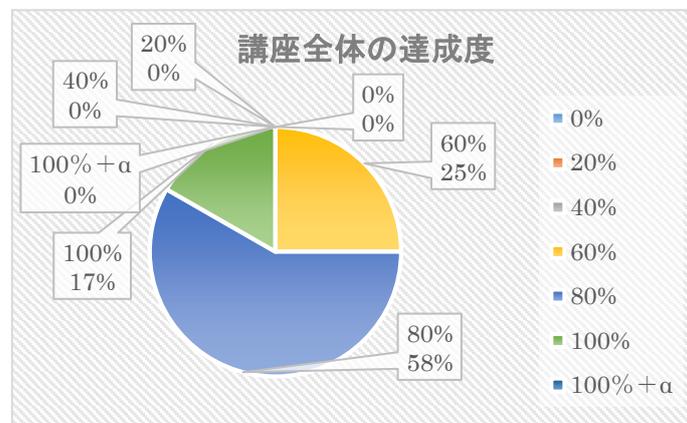


図 3.7 講座全体の達成度（学生の自己評価）

表 3.3 に授業の各回の達成度についての学生の自己判断と、教師の判断を示す。表において、学生の自己判断は、各授業の最後に、手順書に記載している実施内容に対し、自己の達成度を、0%、20%、40%、60%、80%、100%の6つから選択させた結果を用いた。また、教師の判断は、3.1.4章で示した授業カリキュラムの結果と各授業での学生の特徴的所見をベースに達成度を%で表わした。また、図 3.7 に学生の判断の分布を示す。図において、100%達成したと判断したのが、17%（2名）、80%達成が7名（58名）、そして60%達成が3名（25%）となった。全11回の授業を通じての達成度は、教師は75%、学生は78%と、学生のはほぼ同じ値となった。

両者の平均達成度が80%以上と高かったのは、「第2回授業のIoTデバイスの製作」、および「第8回授業のクラウドデータをIoTデバイス上のアクチュエータへのフェードバック」

ク」であった。

「第 2 回授業」では、ブレッドボードでの配線の練習や、手順書に具体的な配線の方法を示したことで、誤り無く作業を進めることができたことが、達成度を上げたと考える。授業後に学生からは、いろいろなアクチュエータを繋げてみたいという意見も出ていた。これは提供したシステムに対して、その応用系を考える素地ができ始めたと考えられる。

「第 8 回授業」では、学生たちが、自分で閾値を設定した通りに、アクチュエータが動作したことに対し、自分たちでもこんなことができるのかと感動していた。さらに、設定値やアクチュエータを変更し、試したいという学生もいた。本授業では、与えられた環境に対して、自分達が思う様に変更したいという気持ちが学生の中に生まれてきた。これは実習を体験したからこそ生じた気持ちであると考えられる。また、平均達成率が 65%以下と低かったのは、「第 6 回授業のクラウドのアカウント登録、デバイス設定」であった。

「第 6 回授業」では、英語表記の各設定項目を明確に指示するために、進捗の遅い学生を個々にフォローしたが、予想以上に時間がかかってしまい、十分にフォローができない学生が生じてしまった。その結果、設定が完了しない学生が発生したことが、達成度を下げたと考えられる。

上記のように、教師、学生ともに達成度が高かった。これは、ものづくりを実践させる点において、本教育カリキュラムは、文系の学生でも構築が可能であることを示していると考えられる。

本研究を通じて、達成度の大きな要因となる学生のモチベーションを上げるためには、学生自身の作業により、その変化を分かり易いグラフ等で実感させることが効果的であると考えられる。

また、逆に学生のモチベーションが下がるのは、実施する内容が分からない場合、および英語の説明文等に取り組む必要が生じた場合であった。

(2) 創出アイデアに関する考察

本授業で学生が創出したアイデアを表 3.4 に示す。収集したアイデアは、合計 22 件であり、アイデアのカテゴリとして、①人間（幼児、保護者等）、②環境（保育室、園舎、施設等）、③機材（遊具、玩具等）に関するものに分類される。第 11 回目の授業では、各授業で提出したアイデアの中から、学生自身が選択して発表し、ディスカッションしてブラッシュアップしたのが、表 3.4 の④の 8 件である。

創出されたアイデアのうち、IoT プロトタイプシステムの構築実習によって創出されたと思われるアイデアは、表 3.4 の②の 1, 2, 3, 4, ③の 1, 2, 5, 7, および、④の 2, 3, 4, 5, 6, 7 であり、全アイデアの約 64%にあたる。これらは知識として表面的に知っているだけでは困難であり、その内容を理解している必要がある。故に、IoT プロトタイプシステムの構築によるものづくりによって得た効果と考える。

表 3.4 創出アイデア内容

No.	アイデア内容
①人間（幼児，保護者等）	<ol style="list-style-type: none"> 1 保育者と子どもが一定距離を離れると警告する. 2 園児の体温を自動で測る. 3 園児の体温，心肺状態等の体調データを自動的に収集し，異常があった場合は，すぐに知らせる.
②保育環境（保育室，園舎，施設等）	<ol style="list-style-type: none"> 1 子どもが喧嘩等で泣いてしまった時に保育室に通知する. 2 園庭や園舎内にカメラを設置し，子ども達の様子を，その園専用のクラウド上に上げて，親が子ども達の普段の様子をいつでも見ることが出来る. 3 保育室やホールの温度，湿度を検知し，子どものその日の健康状態や季節に応じた設定にする 4 巨大な iPod を設置し，道案内や土地のこと等を教える装置，また目的地までの最短ルートを示してくれる
③機材（遊具，玩具等）	<ol style="list-style-type: none"> 1 遊具で危険な遊びをしていたら，センサが察知し，警告する. 2 曲名を入力し，クラウドで曲名に対する楽譜をピアノに送り，自動的にピアノが弾かれる 3 自動的に絵本，紙芝居が読まれる. 4 子どもの声に反応して，音楽が流れる 5 遊具に故障，破損が生じた場合に知らせる. 6 先生の代わりに，乳幼児をあやすサポートロボット 7 指紋や顔認識などで，誰がどの玩具でどれだけ遊んでいるかを集計する.
④ディスカッションしたアイデア	<ol style="list-style-type: none"> 1 年齢，学年により，使用可否の設定が遊具にされており，年齢に達していない子どもが遊ぶと注意するシステム. 2 門にカメラを設置し，児童，幼児，職員以外の登録されていない者は門が開かない. 無理に入場したらブザーを鳴らす. 3 入ってはいけない場所に園児が入ったらブザーがなる. 4 睡眠中の乳幼児のうつぶせを検出し，保育者に伝える. 5 新生児の表情や声をクラウドに送り，顔の表情や泣き声から新生児の感情を推測する. 6 子どもモーター車が IC カードのようなものを身につけ通園路のどこにいるかを把握できる. 7 子どもが危ない所（決めた場所より高い位置など）に行ったら，ブザーが鳴り，保育者に伝える 8 電車車両内に人の数を認識するセンサを設置して，車両ごとの混雑度を計算し，ホームの電光掲示板に表示する.

また，独自性が高いアイデアとして，特に④の 4 と④の 5 が挙げられる．④の 4 は，乳幼児のうつ伏せ寝の検出により，保護者へのアラームを発生するシステムである．生後 2 ヶ月から 6 ヶ月に多く見られる乳幼児突然死症候群（SIDS）が，うつ伏せ寝と関連している可能性があるため，学生が幼児保育実習の中で，常に注意していた．その問題に対し，IoT システムを適用したアイデアである．

④の 5 は，新生児の感情と，その時の顔の表情や声の情報をクラウドに格納し，分析・学習を続けることにより，新生児の感情を，顔の表情や声の状態から推測するアイデアである．本アイデアは，幼児教育実習において，泣き止まない乳児に対して，苦勞している問題に対して創出されたものである．

上記アイデアでは，IoT システムの構成要素である IoT デバイス，ネットワーク，ゲートウェイ，クラウド/サーバを使用した構築で，身近な分野の問題に対し，IoT システムを適用したものである．

(3) 本カリキュラムの効果と今後の課題

本研究では、IoT プロトタイプシステムを用いることにより、文系の学生に、各構成要素の役割を説明し、段階的にIoTシステムの構築を実習させることができた。また、構築を通じて、IoTシステムを実感することにより、自分の身近な分野への応用としてのアイデアを創出させることができた。これは、各構成要素の役割と各構成要素間での連携を理解させ、システム構築を実践することで、情報系に限らず、他の分野の学生でも、システムの応用を考えられるレベルまで教育することができると実感した。さらに、本実習にて、提供されたIoTプロトタイプシステムのセンサやアクチュエータを変更することにより、自分たちの身近な分野への活用を自然に考えられる素地を育てることができたと考える。これは講義、ビデオや本での学習のように、実感を伴わない、受動的な学習では得られない効果であると考えられる。

以上からIoTプロトタイプシステム構築実習を通じたものづくり教育は、学生の専攻分野に依存しない総合的な学習体験に繋がると考える。そしてそれが現在、ICT分野と関係の薄い人たちを含めた各専門分野の応用分野が広がっていくと考える。

本研究における、使用するプログラムは、教師側で用意したため、その動作は決められた内容に留まった。しかし、プログラムによるアクチュエータの動作を変更できれば、よりシステムをより実感させることができたと考えられる。今後は、よりプログラミングを扱いやすくするため、直感的で理解しやすいとされるブロックプログラム等を検討し、プログラミング経験の無い、非情報の学生でも実現可能な、プログラミングを実践させるカリキュラムを検討していきたい。

また、本研究では、11回もの講義を実施することができたが、既存のカリキュラムに、本提案カリキュラムを適用する場合、授業回数が制限される場合が多いと考えている。今後は、授業回数が少なくても効果のある、回数に応じたカリキュラムを検討し、実践していく必要があると考える。

3.1.6. 3.1のまとめ

従来、工学教育分野と考えられたIoTシステムについて、文系学生へのIoTプロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と実践を行った。本カリキュラムの目的は、IoTシステムをプロトタイプ構築により体験的に理解させることと、それを通じて自己の身近な分野に通じるアイデアを創出することであった。

実践の結果、IoTプロトタイプシステム構築ができたこと、およびその体感を通じて、身近な分野への通じるアイデアを創出させることができた。つまり、本カリキュラムが、文系の学生にも効果があると考えられる。今後は、今回の結果を踏まえ、教育系以外の文系学部の学生にも有用なIoTプロトタイプシステム構築教育カリキュラムを検討し、実践していきたい。

3.2. IoT プロトタイプの段階的構築によるアイデア創出方式と実証

本章では、文系学生への IoT プロトタイプ実装教育カリキュラムについて論じる。情報系・非情報系を問わず多くの学生が、IoT システムの構成要素の構築が比較的容易にできるプロトタイプ構築方法の教育を受けることにより、彼らが IoT システムの構築が可能になると考える。そして、学生がこの構築経験を活かして、自らの専門分野に関連したアイデアを創出することが期待できる。本稿では、情報系・非情報系を問わず、学生が達成可能な、IoT プロトタイプシステムの段階的構築により、アイデア創出を目的とする教育手法を提案する。特にプロトタイプの段階的構築において、その各段階の構築終了後にアイデアを創出させ、そのアイデアがどのように進化していくかを検証する。本研究では、本教育手法を幼児教育・保育系の学生の講義に適用し、その実践を行った。

3.2.1. はじめに

IoT (Internet of Things) システムは、センサを含む機器と機器の相互通信、および機器とクラウド上のサーバが、ネットワークにより相互接続し、人間が介在することなく自動で収集したデータを送受信し、様々なサービスを提供するシステムである。近年、センサ機器の小型化、低コスト化、ネットワーク化、さらに、クラウドコンピューティングの発展に伴い、IoT システムを基盤としたサービスが増加している。また、IoT デバイスとして適用可能な、スマートフォンやタブレットが世の中で多く使われていることも、IoT システムの増加に繋がっている。

IoT システムは、工業、農業、施設産業、交通、流通、医療、福祉、教育などの多くの応用分野で活用されつつある。IoT 技術を用いた様々なシステムが提案されてきている。参考文献[2]では、自動車事故発生時に、エアバッグ、GPS データ、運転者の移動状況をデータとして収集・分析し、運転者が動けなくなっているかを判断した場合、緊急連絡を自動的に行うシステムの提案である。また、参考文献[3]は、PC 実習室内の、PC の稼働状況データと人の在席データを収集し、PC が適切に使用されているかの管理を行うシステムを提案している。また家電の状況をいつでもどこでもスマホから管理できるシステムや、IoT を利用した様々なシステムが提案されている。しかし IoT 応用分野の拡大のための教育に関する報告は、ほとんど無かった。応用分野の事例の拡大に対しては、各分野の特徴に関連したアイデアの創出が重要である。また、プロトタイプシステムを構築することが IoT システム全体を理解する上で有効である。さらに学生は、構築作業によって IoT システムの特質を知り、それが基点となってシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。アイデアの創出は自らの専門分野に依存する場合が多いため、情報系以外の文系の学生の視点からも、ユニークなアイデアの創出を期待できる。

IoT システムの構築は、複数の要素技術で構成されるため、全てを理解するのは困難である。しかし、情報系・非情報系を問わないプロトタイプシステム構築が可能な教育方法があれば、IoT システムの要素技術の詳細を理解していない情報系以外の学生にも IoT システ

ムのアイデア創出の教育が可能となる。このような教育を通じて、ものづくりを学ぶとともに、アイデア創出という創造性の教育効果が期待できると考える。筆者らは、文系学生に対して IoT プロトタイプシステム構築の教育カリキュラムを提案し、授業を実践した。プロトタイプシステム構築には、段階的に構成要素を組み合わせ、実感を伴いながら進めていくことが重要である。

本研究では、アイデア創出を目的とした IoT プロトタイプシステムの段階的構築による教育手法を提案する。本手法は、IoT システムを IoT デバイス、IoT ゲートウェイ、ネットワーク、およびクラウドの 4 つの構成要素に分け、段階的に IoT プロトタイプシステムの構築を行う。そして各段階での実習後、IoT システムを使用したサービスのアイデア創出を行う。本研究では、本手法を文系の教育系学生の授業に適用し、各構築段階後に創出したアイデア内容を基に考察を行った。

3.2.2. IoT プロトタイプシステム

IoT システムの典型的な基本構成、およびデータの流れを図 3.8 に示す。図において、IoT デバイスはセンサによって取得したセンシングデータを、センサーネットワークを介して IoT ゲートウェイに送信する。IoT ゲートウェイはセンシングデータを、インターネットを介してクラウドに送信する。センシングデータは、クラウド上で処理され、IoT ゲートウェイを介して IoT デバイスのアクチュエータを動作させる。このように IoT システムは複数の要素が連携し合うことにより、有用なシステムとして成立する。

IoT システムのアイデアを創出させるためには、IoT システムを構築する体験を通じて、学生にシステムを実感させることが有効であると考えられる。また、IoT システムの各構成要素を簡略化して、組み立てたプロトタイプシステムならば、文系の学生にとっても構築の可能性があると考える。学生は、この構成をものづくり実習によって組み立てる。本構築方法は、IoT システムの構築を容易に実現させるために、各構成要素の外部仕様と要素間インタフェースを明らかにし、要素の内部詳細はアイデアボックス化する。すなわち、IoT 構成要素に関する詳細な専門知識が無い学生でも、その組合せを考慮することにより IoT シ

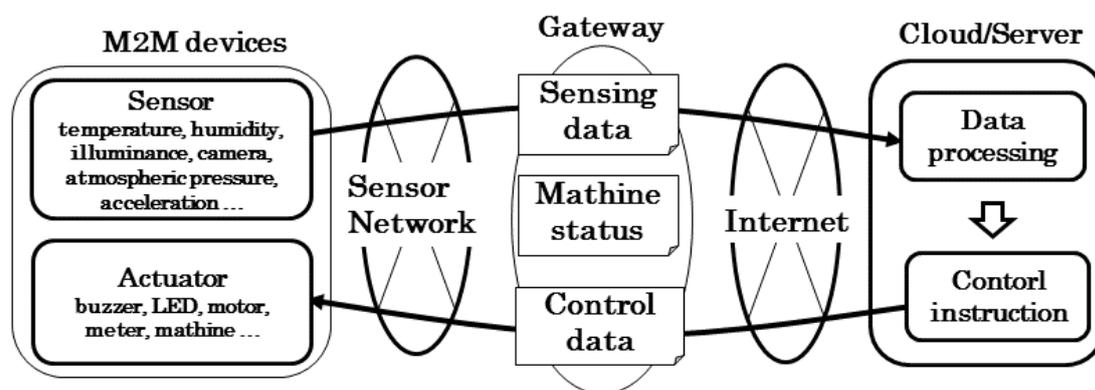


図 3.8 IoT システムの概要

システムを構築することができるようにする。

このようにすることで、文系の学生は IoT のしくみの概要を学習し、プロトタイプシステムの構築を体験することができる。

本手法の主体となる IoT プロトタイプシステムにおいては、オープンハードウェア、オープンソフトウェア、および現在広く使用されているネットワークインタフェースを構成要素として使用する。

3.2.3. IoT プロトタイプ段階的実装におけるアイデア創出法の提案

本章では、情報系・非情報系の学生に問わず達成可能な、IoT プロトタイプシステムの段階的構築によるものづくりの体験からのアイデア創出を狙いとする教育手法を提案する。

(1) IoT プロトタイプシステムの構成

IoT プロトタイプ基本構成を図 3.9 に示す。IoT プロトタイプシステムは、図に示す様に、IoT デバイス、ゲートウェイ、およびクラウド/サーバの要素から構成される。IoT デバイスは、センサとアクチュエータで構成し、オープンハードウェアである Arduino や Raspberry Pi を使用する。アクチュエータは、その動作を容易に確認できる LED, ブザー, モーター等を、センサは、扱い易い温度, 湿度, 大気圧センサを使用する。センサーネットワークは、ZigBee を使用する。IoT ゲートウェイは、IoT デバイス側ネットワークとクラウドネットワーク側のゲートウェイとして機能できる PC, または Raspberry Pi を使用する。クラウドサービスとしては、Xively を使用する。

学生は本構成に合わせて、その構成要素を追加しながら段階的に IoT プロトタイプシステム構築の実習を行う。また、各段階での構築終了時に、IoT システムのアイデアを創出

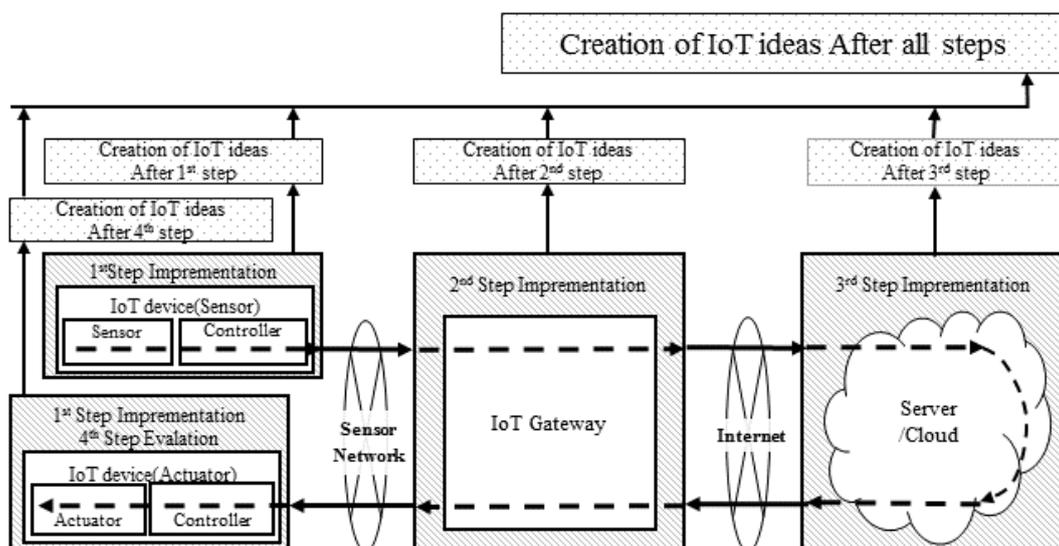


図 3.9 IoT プロトタイプシステムの基本構成と段階的構築

させる。各段階の実習概要を次節に記す。

(2) IoT プロトタイプシステムの段階的構築

① 第1段階

第1段階はIoTデバイス上のセンサとアクチュエータの範囲とする。本実習では、学生にもものづくりを体感させる狙いとして、センサとアクチュエータ等の電子部品とジャンパ線を用いて、基板上に回路を作成する実習を含める。そして、作成した回路とArduinoの接続を行い、IoTデバイスを作成し、プログラムを動作させ、センサが取得した値を確認する。実習後に、IoTシステムを用いたサービスのアイデアを考えさせる。

② 第2段階

第2段階は、IoTデバイス、センサーネットワークとIoTゲートウェイの範囲とする。本実習では、学生はIoTゲートウェイをWindows PC上に実装し、この上でプログラムを動作させて、ゲートウェイから送信されたセンサが取得したデータのグラフ表示を行う。IoTデバイスとゲートウェイ間の通信は、無線であるZigBeeを使用する。実習後に、IoTシステムを用いたサービスのアイデアを考えさせる。

③ 第3段階

第3段階は、第2段階の構成に、インターネットとクラウド/サーバを追加した範囲とする。本実習では、学生はIoTデバイスからクラウドまでのシステムを構築する。まず、学生はクラウドであるXivelyのアカウント登録及びデバイス設定を行う。そして、プログラムをゲートウェイ上で動作させ、クラウドにセンサデータを送信する。クラウド上に送信したデータは、スマートフォンやPCのブラウザから確認する。実習後に、IoTシステムを用いたサービスのアイデアを考えさせる。第3段階の構築で物理的な機器構成の構築は完了する。

④ 第4段階

第4段階では、学生はクラウドに送信したデータの値により、アクチュエータへ命令を送信するシステムを構築する。そして、クラウド上のセンサデータ値が、閾値を越えた場合、アクチュエータが動作することを確認する。実習後に、IoTシステムを用いたサービスのアイデアを考えさせる。

⑤ 最終段階

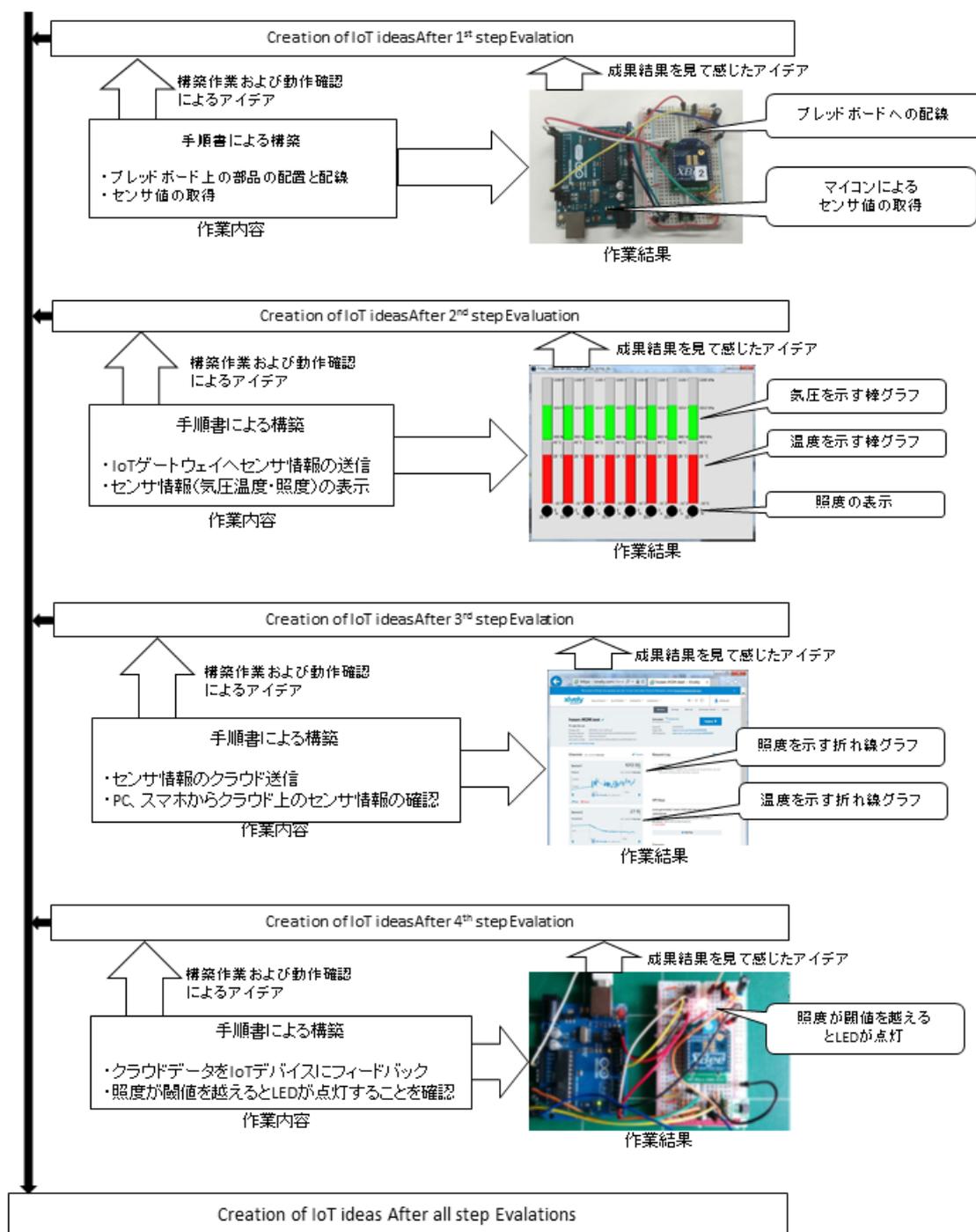
これまでの各段階で創出したアイデアを振り返り、ブラッシュアップさせたものを発表し、学生間で議論を行い、新しい気付きを誘導する。

3.2.4. IoTプロトタイピング教育手法の実践

(1) 本手法の適用

本研究では、我々は本手法の実施を、こども教育宝仙大学の授業にて行った。本学は、幼稚園教諭、保育士を養成する幼児教育・保育系の学部で構成されており、その授業カリキ

ユラムでは、児童心理学や教育学等の教育系授業が主体である。2014年下期の情報系の選択科目である「暮らしの中のコンピュータ」という全15回の情報学の授業のうち、11回をIoTプロトタイピング教育に割当て、実施した。履修者総数は12名（1年、2年、4年）であり、男4名女8名の構成であった。これを3つのグループに分け、グループごとに実習を行った。



3.10 各段階でのプロトタイプ構築内容とアイディア創出

学生に配布する手順書の実習手順は、授業での順番に合わせることで、学生が授業後に本資料を見直すことにより、実習作業の復習ができるようにした。我々は特にブレッドボードによる回路の作成については、ブレッドボードのどの座標に、何を配線するかを、明確に記載した。

(2) 本手法の実践

本手法基本構成は、3.2.3章で示したように、4つの段階的システム構築実習、および実習後のアイデア創出と各段階で創出したアイデアを見直しブラッシュアップする最終段階で構成した。

本教育手法による実習の状況と学生の特徴的所見を以下に述べる。各段階での実施内容と実施結果とアイデア創出の関係を図 3.10 に示す。

段階的システム構築実習の「第1段階実習」では、図 3.10(A)に示す通り、目的を IoT デバイスの製作と動作確認とした。まずセンサとアクチュエータを配線し、回路を作成した。配線位置を具体的に指定することで、ほとんどの学生が作業を完遂できた。動作の確認では、学生は Arduino 上でプログラムを動作させ、センサが取得した値を確認することができた。学生は、照度センサをハンカチ等で覆ったりすることで、取得した値が変化することに興味を持った。

「第2段階実習」では図 3.10(B)に記すように、学生にセンサデータを Arduino プログラムにより、IoT ゲートウェイへの送信を行い、Processing プログラムにより受信したセンサデータをグラフ標示させた。学生は、結果が視認できることに感動し、また、照度センサにハンカチをかぶせて暗くすることで、グラフに変化が起こることに興味を持った。

「第3段階実習」では、図 3.10(C)に記すように、学生は、センサデータのクラウドへの送信と確認を行った。まず、クラウド (Xively) の設定を行った。Xively のホームページにログインし、設定を行ったが、表示が全て英語であったため、作業が進まなかった。次にクラウドへのセンサデータの送信と確認を実施した。学生は、クラウドに登録したデータを PC や自分のスマートフォンで確認できたことに対して、感動している様子であった。

「第4段階実習」では、図 3.10(D)に記すように、クラウドデータの値による、IoT デバイス上のアクチュエータにフィードバックの確認を目的とした。具体的には、センサの値が閾値を越えた場合、アクチュエータであるブザーや LED が動作するプログラムの導入を実施した。学生は、照度センサに布をかぶせた状態から、取り除くことにより、照度値が閾値を越えた際に、LED が点灯し、ブザーが鳴動することについて、驚きの表情で実習に取り組んでいた。

全ての構築作業の完了後に図 3.10(E)に示すように、学生たちに、これまで創出したアイデアを 1 つ選ばせ、これまでの実習を通じて得た知識を用いてブラッシュアップし、発表させ、議論した。ほとんどの学生が積極的に質問や意見を出し、議論を楽しんでいた。ま

た質問や意見を聞くことにより、気付いた内容を、議論後に提出したアイデアに反映した学生も多かった。

3.2.5. 創出アイデアに関する考察

本実習を通じて創出した IoT システムのアイデア内容を主体に考察を行った。

今回、学生が創出したアイデアを表 3.5 に示す。同様のアイデアをまとめると、収集したアイデアは、合計 25 件であった。

第 1 段階実習後のアイデアは、1 の防犯システムのように、具体的な構成は分からないが、適用できそうなシステムを言葉にしたものが多かった。創出したアイデアのシステ

表 3.5 Created ideas after every evaluation step

Created ideas after 1 st evaluations	<ol style="list-style-type: none"> 1, 防犯システムに使用できそうだが、センサは何を使ったら良いだろうか。 2, 自動販売機の在庫情報を遠隔で管理ができそう。 3, 人が部屋に入って着たら点灯し、出ていくと消灯することができそう。 4, エスカレータにセンサをつけて、人が来たら動き始める。 5, 火事や煙を感知して、防犯ブザーを鳴動させる。
Created ideas after 2 nd evaluations	<ol style="list-style-type: none"> 1, 防犯システムで、カメラで人を確認したら自動的に呼出し音が鳴る 2, 自動販売機にカメラを付けて、購入者年齢、性別、購入品名、購入時間を記録する。 3, カメラで撮った写真を自動的にフォトフレームへ送る。 4, 湿度、雨量を監視して、危険になった場合、自動的警報を出す。 5, 信号機にセンサを付けて、人や車を感知して動作する。
Created ideas after 3 rd evaluations	<ol style="list-style-type: none"> 1, 防犯システムで、カメラに映った人を自動的にクラウドに送信する。 2, 子どもの体温、血圧等の健康データを自動的にクラウドに送信し、いつでも PC やスマホから確認できる。 3, スマートフォンからリモートで家電を動作させる。 4, 入ってはいけない場所に園児が入ったらブザーがなる。
Created ideas after 4 th evaluations	<ol style="list-style-type: none"> 1, 防犯システムで、門にカメラを設置し、児童、幼児、職員以外の登録されていない者は門が開かない。また、無理に入場したらブザーを鳴らす 2, 教室での園児の様子を、スマホから映像を確認できる。 3, 教室の温度、湿度を計測して、空調システムが、自動的に最適な環境にする 4, 信号機が人や車が近づいてくることを検知して動作する 5, 空調システムで、温度センサを具備し、内部が危険温度を超えたら自動停止する
Created ideas after last evaluations	<ol style="list-style-type: none"> 1, 防犯システムで、門にカメラを設置し、児童、幼児、職員以外の登録されていない者は門が開かない。また、警察データベースにアクセスし、指名手配犯なら、警察に連絡する。 2, 年齢、学年により、使用可否の設定が遊具にされており、年齢に達していない子どもが遊ぶと自動的に注意する。 3, 睡眠中の乳幼児のうつぶせを検出し、保育者に警報を伝える。 4, 新生児の表情や声をクラウドに送り、顔の表情や泣き声から新生児の感情を推測する。 5, 子どもモーターちに IC カードを身につけ、通園路のどこにいるかをいつもで把握できる。 6, 子どもが危ない所（決めた場所より高い位置など）に行ったら、ブザーが鳴り、保育者に伝える

ムを実現する場合、どのようなセンサとアクチュエータが必要になるかという問いに対し、教師のフォロー無しに回答できた学生は、半分以上であった。IoT システムを考える場合、学生は実習で扱ったセンサとアクチュエータを考慮する必要があることを認識できたと考える。

第 2 段階実習後のアイデアでは、1 の防犯システムのように、センサとしてカメラを、アクチュエータとしてブザーを用いるというように、センサとアクチュエータを具体的に考慮したアイデアが多くなった。

第 3 段階実習後のアイデアでは、2 のように、初めてセンサデータをサーバに置くという、クラウドを考慮したアイデアが創出された。クラウドについては、第 3 段階実習により初めて知った学生が多く、クラウドのアカウント作成は、全ての学生が初めての経験であった。

第 4 段階実習後のアイデアでは、1 のように、センサ値をベースに、対策を自動的に策定し、アクチュエータへ命令を送り実行させるという、IoT システム全体を意図したシステムのアイデアが創出された。また、IoT システムの各構成要素についても、具体的に考えている学生が多かった。

アイデア発表後のアイデアは、1 のように、IoT システムの全体を考慮し、さらに公のデータベースを追加し、それと入力データを比較して、制御命令を決定するという内容であった。また、自分の専門である幼児教育に関連したシステムのアイデアが非常に多く創出された。

学生の専攻である幼児教育に関係したアイデアについて見てみると、第 1 段階、第 2 段階では、特に幼児、子どもを対象にしたものが無かった。しかし、第 3 段階では 4 件中 2 件、第 4 段階では 5 件中 3 件、アイデア発表後では、6 件中 6 件が、園児、子どもを対象にしたアイデアであった。これは、アイデア発表の前に、教師が身近な事象で困っていることを、IoT システムで解決するアイデアはないだろうかと問いかけを行ったことも原因のひとつである。しかし、ほとんど全員が自己の専門分野に関連したアイデアを選択するには、IoT システムを知識として表面的に知っているだけでは困難であり、その内容を理解している必要があると考える。故に、IoT プロトタイプシステムの構築によるものづくりによって得た効果と考える。

また、独自性が高いアイデアとして、3.1 章でも言及したが、特に最終段階後の 3 と 4 が挙げられる。3 は、乳幼児のうつ伏せ寝の検出により、保護者へのアラームを発生するシステムである。生後 2 ヶ月から 6 ヶ月に多く見られる乳幼児突然死症候群 (SIDS) が、うつ伏せ寝と関連している可能性があるため、学生が幼児保育実習の中で、常に注意していた。その問題に対し、IoT システムを適用したアイデアである。

4 は、新生児の感情と、その時の顔の表情や声の情報をクラウドに格納し、分析・学習を続けることにより、新生児の感情を、顔の表情や声の状態から推測するアイデアである。本アイデアは、幼児教育実習において、泣き止まない乳児に対して、苦労している問題に

対して創出されたものである。

上記アイデアでは、IoT システムの構成要素である IoT デバイス、ネットワーク、ゲートウェイ、クラウド/サーバを使用した構成で、身近な分野の問題に対し、IoT システムを適用したものである。

また、表 3.5 の各構築段階の 1 に示した防犯システムは、同じ学生が創出したアイデアである。表に示すように、実習段階が進むに連れて、アイデアの詳細度や具体性が明確になっていった。特に最終段階後のアイデアでは、自分が考えた IoT システムと、警察の指名手配者データベースのような、外部のデータベースとの連携を考慮した内容であった。これは学生が段階的実習を実践することにより、IoT システムをより深く理解でき、構成要素並びに機能について、具体的に検討できるようになったと考える。

3.2.6. 3.2 のまとめ

実践の結果、学生が IoT プロトタイプシステムの段階的な構築ができ、その体感を通じて、身近な分野への通じるアイデアを創出させることができた。つまり、本手法が、文系の学生にも効果があると考えられる。今後は、今回の結果を踏まえ、創出したアイデアをシステムとして実現する試みを行っていきたい。また、文系学部以外の学生にも適用できるように本手法を更に検討し、農学系、情報通信系、機械系の学生に実践していきたい。

3.3. 3 章のまとめ

本研究の目的は、1 章で述べた通り、IoT システムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存な IoT システム教育法を確立することである。本目的を達成するために、本章では、情報系リテラシーの低い文系学生でも実施可能な IoT システム教育を開発することを目標とした。そこで本研究では、従来、情報系教育分野と考えられた IoT システムについて、文系学生への IoT プロトタイプシステム実装教育法の提案と実践を行った。本教育法の主眼は、IoT システムをプロトタイプ構築により体験的に理解させることと、それを通じて自己の身近な分野に通じるアイデアを創出することであった。実践の結果、IoT プロトタイプシステム構築を段階的に行い、システムが動作することの確認ができたこと、およびその体験を通じて、自己の身近な分野への通じるアイデアを創出させることができた。つまり、本教育法が、文系の学生にも効果があることを確認した。

また、プロトタイプ構築の各段階における創出アイデアの変化に観点を置くと、構築段階が進むにつれて、センサやアクチュエータが具体化し、より現実的なシステムのアイデアを創出しており、段階的構築による IoT システムの理解に効果があることを確認した。

本研究で開発した成果物を以下に記す。

- ・ 文系でも実施可能な IoT プロトタイプ段階的構築法
- ・ 段階的構築法を基とした授業内容表

- ・ 段階的構築法を基とした構築手順書
- ・ 構築結果による理解度評価法
- ・ 構築による IoT システムの実感を踏まえての応用アイデア創出法

4. 支援エージェントを用いたIoTプロトタイプの構築によるIoTシステム教育法の提案と実践

本研究の目的は、1章で述べた通り、IoTシステムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存なIoTシステム教育法を確立することである。IoTシステムを理解するためには、IoTシステムの各構成要素を簡略化したプロトタイプシステムの構築を指導することが有効である。学生は構築作業により、IoTシステムの特徴を知り、システムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。しかしこのようなものづくりの授業を行うためには、授業準備、授業中、授業後のフォローが必要であり、一般の授業よりも教師の負荷が高くなり、また、そのため1人の教師が指導できる学生数には制限があった。本研究では、従来のものづくり授業と比較して、教師の負荷を下げ、一度に指導できる学生数を増やすことができるIoTシステム教育法を開発することが目標である。

IoTプロトタイプシステム構築を自習で実施し、授業ではその結果とIoTシステムサービスのアイデアを発表・議論させる教育法を提案する。構築実習における電子部品の配線等のものづくりは、教師の支援が重要となる。そこで教師の代わりに実習の支援を行うエージェントを用意した。

我々は本提案を理工系大学の学生に実施し、考察を行った。

4.1. はじめに

IoT (Internet of Things) システムは、センサを含む機器と機器の相互通信、および機器とクラウド上のサーバが、ネットワークにより相互接続し、人間が介在することなく自動で収集したデータを送受信し、様々なサービスを提供するシステムである。近年、センサ機器の小型化、低コスト化、ネットワーク化、さらに、クラウドコンピューティングの発展に伴い、IoTシステムを基盤としたサービスが増加している。

IoTシステムは、工業、農業、施設産業、交通、流通、教育、医療、福祉などの多くの応用分野で活用されつつあり、様々なシステムが報告されている。IoT技術の発展においては、IoT技術者の人材育成が重要であると考えられる。IoTシステムに関する研究については、IoTシステムの応用や各構成要素に関する内容を主体としているものが多く報告されているが、IoTの教育に関する研究は、ほとんど報告されていない。IoTシステムは、センサ、アクチュエータ、ネットワーク、ゲートウェイ、およびクラウド等の複数の要素技術で構成されているため、全てを理解させるのは困難である。IoTシステム全体を理解するには、IoTシステムの各構成要素を簡略化したプロトタイプの構築が有効である。学生はプロトタイプの構築作業により、IoTシステムの理解を深め、それが基点となってIoTシステムの構築、およびIoTの応用システムについてのアイデアを出す可能性がある。アイデア出しは自らの専門分野に依存する場合が多いため、情報系以外の学生の視点からも、ユニークなアイデアを期待できる。これは、IoT応用分野の拡大へと繋がる。

プロトタイプ構築には、データ入出力対象デバイスのセンサとアクチュエータの配線、デバイス入出力データを取得し処理するプログラムの作成、デバイスとゲートウェア間の無線設定、デバイスとクラウド間でのデータ通信を制御するゲートウェイ機能の設定、そしてクラウド上でのデータ処理のステップがある。このうち、センサとアクチュエータの接続、コントローラのプログラム作成は、ものづくりの要素が多いため、教師の直接指導が必要である。同様に無線設定は、多くのパラメータによるソフトウェア設定になるため、教師の直接指導が必要である。もしこの支援を行うエージェントに代替することができるなら、自習型の IoT プロトタイプ構築が可能になる。学生は、自習結果や IoT システムのアイデアを、教師と学生が集まる授業で発表し、議論を行う、問題発見解決型学習の PBL (Problem Based Learning) 型の教育が可能となる。これにより、学生により深く IoT システムについて考えさせ、より現実的なアイデアに結びつくと考える。さらにプロトタイプ構築における教師の負担の軽減にも繋がると考える。

本論文では、エージェントによる支援機能を持ったプロトタイプ構築による IoT 教育法の提案を行う。本提案の骨子は次の通りである。

(1)IoT プロトタイプを構築することにより理解を深める際、学生が自習で構築ができる様に、教師の代わりに構築支援を行うエージェントを搭載した学習システムを提供する。エージェントは、プロトタイプ構築に重要な、以下の3つを提供する。即ち、電子部品の配線作業を支援する「配線支援エージェント」、センサデータを取得し送信するプログラム作成を支援する「プログラミング支援エージェント」と、無線デバイスの設定作業を支援する「無線設定支援エージェント」を提供する。本エージェントは、学生が構築で分からなかった内容について、構築自習用に用意した WEB システムにアクセスし、WEB システムからの質問に回答していくことにより、学生がつまづいた原因の可能性のある対応策を、事前に想定し設定した内容から選択し、表示するものである。学生は、その表示された内容をヒントとし、再度構築を進める。

(2)プロトタイプ構築は、手順書を学生に提供し、自習で行わせる。構築は、ステップごとに実施させ、都度集合授業にて、その構築結果を発表し、議論する PBL 型の学習方法をとる。ここで学生は、自分のつまづいた点の原因や、新しい気付きへと導く。

(3)IoT システム構築を体験した上で、身近な問題に対する解決策として IoT システムを適用するアイデアを考えさせる。授業では、考えたアイデアを発表、議論することで、新しい気付きや、より現実的なアイデアへ繋げる。

本教育法を理工系大学で実践し、考察を行った。

4.2. 関連研究

IoT システムに関する関連研究は、数多く報告されている^{1)~5)}。これらは、IoT システムの構成要素に関するもの、システムへの適用に関する内容を主体としているものが多い。教育に関する関連研究は、教育に IoT システムを適用した内容が多く^{6)~9)}、IoT そのものの教

育に関する研究はほとんど報告されていない。ものづくり教育の事例として、「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成 (enPiT) ¹⁰⁾」では、多くの成果が報告されているが、ビッグデータ・AI 分野、セキュリティ分野、組込みシステム分野、ビジネスシステムデザイン分野にわかれており、IoTシステムの教育は一部である。また教育対象は主として、情報通信分野の学生である。

筆者らは、文系の学生に対して、IoT プロトタイプシステムの構築によるものづくりの体感と、その体験からの IoT 応用アイデア出しを狙いとする教育を実践した ¹¹⁾。文系学生に、IoTシステムの各構成要素をブラックボックス化し、それらをステップごとに組み合わせ構築指導を実施した。その結果、文系学生でも、IoTプロトタイプを構築し、専門に応じたサービスのアイデアを出すことができた。しかし、教師が1人で複数の学生への支援を行ったため、教師の負荷が大きく、教師の支援を待つ学生が多く、作業の進捗がなかなか進まなかった。従って、自習型の構築は実施できなかった。

また、筆者らは情報系学生に対する、IoTシステム構築教育を実施した ¹²⁾。この研究では、IoTプロトタイプシステムを用いたシステム全体の構築を実践させることにより、学生にシステムを実感させ、アイデアを考えさせ、発表させている。実習時は、対面授業での教師の支援が必要であり、授業時間内に完了できない学生には、授業時間外での支援を行ったため、教師の負担が大きかった。そのため、教師が支援できる学生数により、受講できる学生の数が制限されてしまう課題があった。また、この授業はPBL型ではなく、アイデアの発表や議論を行わなかったため、学生に新しい気付きや、より現実なアイデアへのブラッシュアップを行わせることができなかった。

PBLの手法に関しては、いくつかの報告がされている ¹³⁾¹⁴⁾。構築実習の結果や考えたア

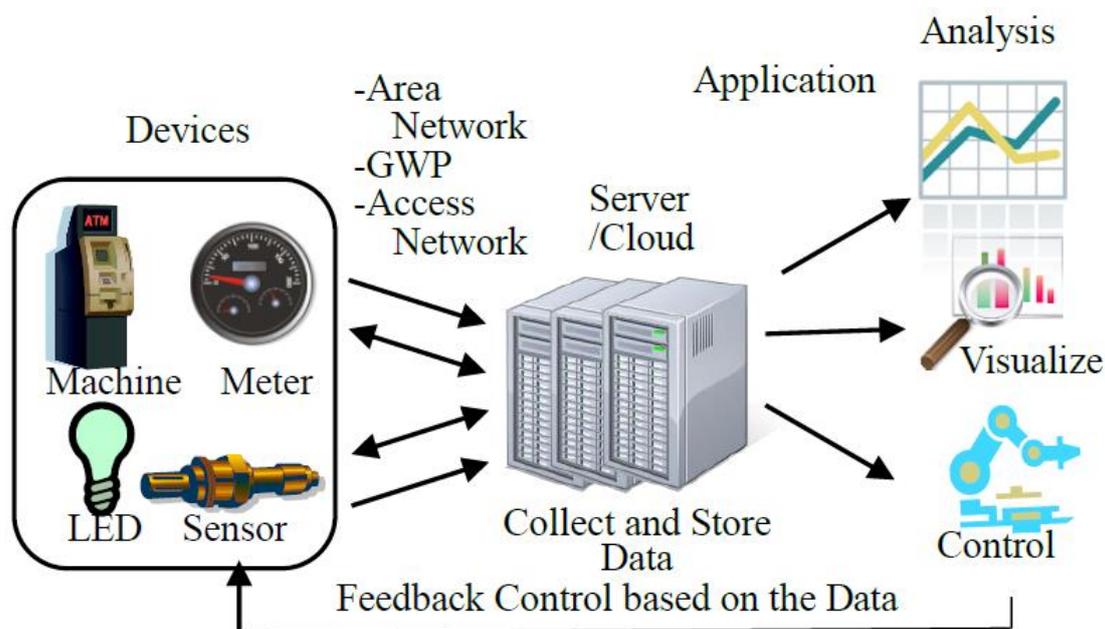


図 4.1 IoT システムの基本構成

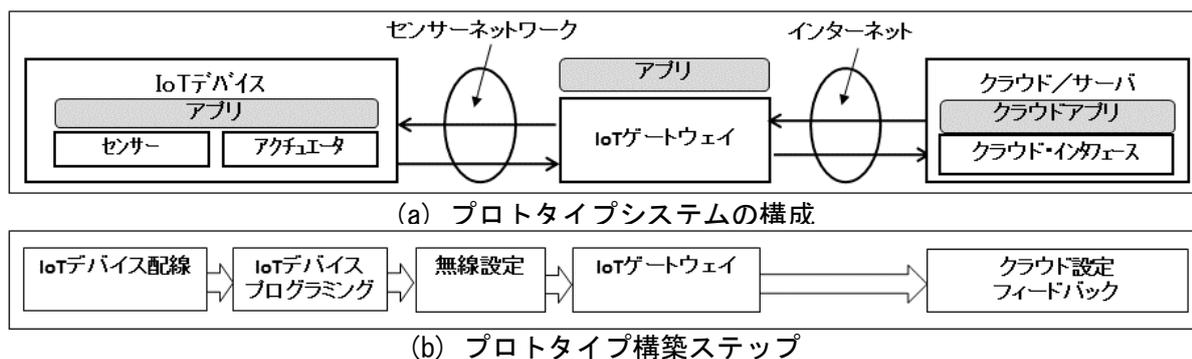


図 4.2 IoT プロトタイプシステムの構成と構築ステップ

アイデアを、学生に発表・議論させることで、学生たちは、自分のアイデアに対する新しい気付きや、より現実的なアイデアへのブラッシュアップが図れる可能性があると考えられる。

4.3. エージェント支援機能を持った IoT プロトタイプ構築教育法の提案

4.3.1. IoT システムの特質と IoT プロトタイプシステムの構造

図 4.1 に典型的な IoT システムの基本構成を記す。図において、IoT システムは、IoT デバイスと、サーバクラウド、そして IoT ゲートウェイで構成される。IoT デバイスは、様々なセンサとアクチュエータを具備し、センサの取得情報をサーバクラウドに送信する。またサーバクラウドからの制御命令を受け、アクチュエータ制御を実施する。

サーバクラウドは、各センサからの情報を集積し、可視化・分析を行い、アクチュエータへの制御命令を生成する。IoT ゲートウェイは、IoT デバイスが属するネットワークとサーバクラウドが属するネットワークを中継し、相互接続を行う。このように IoT システムはセンサ技術、ネットワーク技術、情報処理技術などの多岐にわたる技術から構成される。

IoT システムの教育を行うには、各構成要素を簡略化したプロトタイプシステムを構築することが IoT システム全体を理解する上で有効である。図 4.2 に IoT プロトタイプシステムの構成とプロトタイプ構築ステップを記す。図 4.2(a)はプロトタイプシステムの構成であり、その基本構成は、センサ/アクチュエータを含む IoT デバイス、IoT ゲートウェイ、ネットワーク及びクラウド/サーバで構成される。

学生はこの構成をものづくり実習によって組み立てる。IoT システムの構築を容易に実現させるためには、各構成要素の外部仕様と要素間インタフェースを明らかにする必要がある。図 4.2(b)にプロトタイプシステムの構築ステップについて記す。図において、IoT プロトタイプの構築は、各構成要素を段階的に構築して、システムを完成させる段階的構築学習ステップを採用する。まず IoT デバイスを構築するため、センサやアクチュエータの配線を行う。次にセンサの値を取得するプログラムと、アクチュエータを制御するプログラムを作成し、IoT デバイスを完成させる。次にセンサーネットワークとして使用する無線の設定

を行い、IoTデバイスとゲートウェイが、無線を介してデータの送受信を行う様にする。次にセンサーネットワークとインターネットとの中継を行うために、ゲートウェイ設定を行う。最後にクラウドを使用するための設定と、センサからの情報からアクチュエータへの制御命令を作成し、送信するフィードバック設定を行い、IoTシステムを完成させる。

4.3.2. エージェント支援機能を持ったIoTプロトタイプ構築教育法

図4.3に学習支援機能を持ったIoTプロトタイプ構築教育の流れを記す。図において、左側は図2(b)で示した構築ステップであり、右側はその各構築ステップにおける学生のアクション、授業内容、そして教師のアクションから成る構築教育の流れを示す。

本教育は、IoTプロトタイプ構築をステップごとに、エージェントを使用した自己学習により実施し、授業において構築結果の発表と議論を行う。そして一連の構築ステップを完

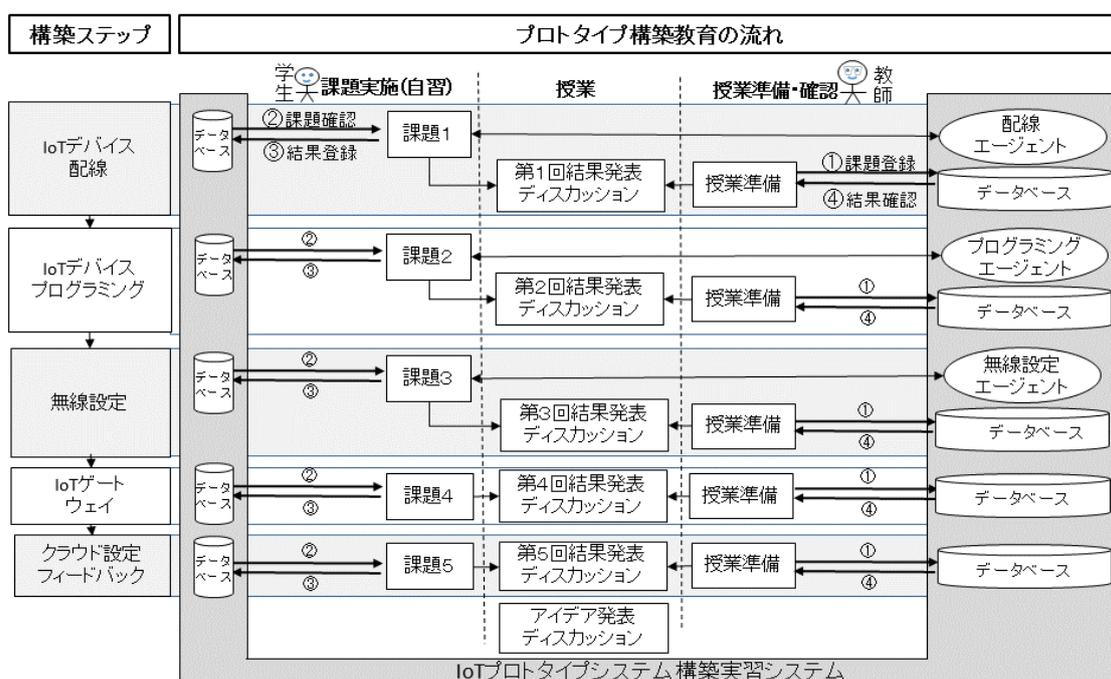


図 4.3 学習支援機能を持ったIoTプロトタイプ構築教育の流れ

了し、プロトタイプを構築した後で、IoTシステムを利用したサービスを考え、発表し、議論を行う。

第1ステップでは、IoTデバイスの配線を行う。まず、①課題登録で、教師は、授業の事前課題として、IoTデバイスの配線の手順書を、IoTプロトタイプ構築学習システムに登録する。次に②課題確認で、学生は、本学習システムにアクセスし、手順書をダウンロードし、IoTデバイスの配線に取り組む。わからないところがあった場合は、本学習システムから、配線支援エージェントに問い合わせ、エージェントからの情報をヒントにして、再度課題に取り組む。次に③結果登録で、学生は課題の実習結果を本学習システムに登録する。④

結果確認で、教師は、学生の課題実習結果を確認し、その結果を参考にして授業に臨む。

授業では、各学生が課題の結果を発表し、その内容に対して議論を行う。これにより学生は自分ができなかった部分を確認することができ、また完了した学生も、より良い方法に気が付き、より IoT システムについて深く理解できる可能性がある。

第 2 ステップでは、IoT デバイスのプログラミングを行う。第 1 ステップと同様に、教師が①課題登録を行い、学生が②課題確認を行い、プログラミングに取り組む。わからないところがあった場合は、学習システムから、プログラミング支援エージェントに問合せ、エージェントからの情報をヒントにプログラミングに取り組む。学生は学習結果を③結果登録し、教師は、④結果確認を行い、授業に臨む。そして授業では、各学生が課題の結果発表と議論を行う。

第 3 ステップでは、IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間通信の無線設定を行う。第 2 ステップと同様に、教師が①課題登録を行い、学生が②課題確認を行い、手順書等の資料を入手して、プログラミングに取り組む。わからないところがあった場合は、学習システムから、無線設定支援エージェントに問合せ、エージェントからの情報をヒントにプログラミングに取り組む。学生は結果を③結果登録し、教師は、④結果確認を行い、授業に臨む。そして授業では、各学生が課題の結果発表と議論を行う。

第 4 ステップでは、IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間のセンサーネットワークと、IoT ゲートウェイとクラウド/サーバ間のインターネットの 2 つのネットワークを繋げる IoT ゲートウェイの設定を行う。第 3 ステップと同様に、教師が①課題登録を行い、学生が②課題確認を行い、手順書を入手し、課題を実施する。本作業は手順書に従い作業をすることで完遂できると考え、支援エージェントを提供しない。そして学生は③結果登録し、教師は、④結果確認を行い、授業に臨む。そして授業では、各学生が課題の結果発表と議論を行う。

第 5 ステップでは、クラウドのアカウントとクラウド上で動作するプログラムの設定を行い、IoT プロトタイプ構築を完成させる。第 4 ステップと同様に、教師が①課題登録を行い、学生が②課題確認を行い、手順書を入手し、課題を実施する。本作業は手順書に従い作業をすることで完遂できると考え、支援エージェントを提供しない。そして学生は③結果登録し、教師は、④結果確認を行い、授業に臨む。そして授業では、各学生が課題の結果発表と議論を行う。

また、最終の第 5 回授業では、課題結果に加え、これまで IoT の IoT プロトタイプシステムを構築してきた経験を基に考えさせた、IoT システムを適用したサービスのアイデアを発表し、議論する。その結果、自己のアイデアをブラッシュアップし、現実性の高いサービスのアイデアを考えられる可能性がある。

4.3.3. 学習支援エージェントの機能

図 4.4 に本実装教育システムのエージェントの基本動作を記す。図において、本システ

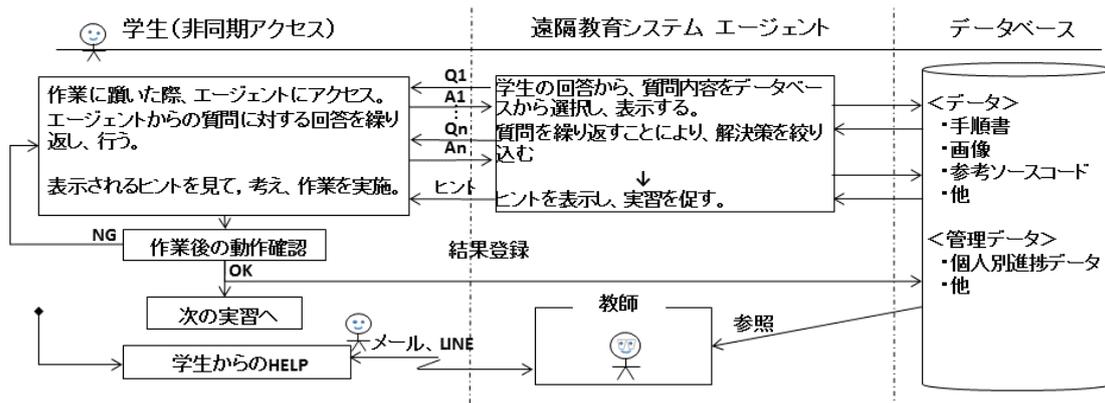


図 4.4 支援エージェントの基本動作



図 4.5 各エージェントの動作

ムは、学生、エージェント、データベース、そして教師で構成される。構築実習の場合、学生は、教師が提示した実習課題に対して、本システムにアクセスし、手順書を見ながら実習を進めていく。実施中に作業につまずいた学生は、本システム上に設置したエージェントに問い合わせる。エージェントは、学生がつまずく可能性がある内容をデータベースから一覧表示し、学生がその中から該当する内容を選択する。エージェントは、解決に導くためのヒントとなる内容をデータベースから取り出し、それを提示する。学生はその内容を見て、考え、実習を進める。

図 4.5 に本論文で提案する 3 つのエージェントの概要と動作を記す。

① 配線支援エージェント

ものづくり要素が強く、学生に構築の実感を与える効果が高い IoT デバイス上の電子部品の配線を支援するエージェントである。本エージェントの目的は、正確にブレッドボード上に電子部品を正確に配置し、配線を行うことである。図 4.5 の①に本エージェントの動作を記す。電子部品の配線を行うには、ブレッドボードの基礎知識を理解した上で、電子部品の配線を実施する必要がある。そこで、学生がつまずくと想定する内容を、ブレッドボードの基礎知識と、具体的な配線作業の 2 つに分ける。ブレッドの基礎知識としては、配線に必要な不可欠な知識であるブレッドボードの使用法を提示し、再確認させる。具体的な配線作業については、学生にどこまでうまくいったかの確認を行うことにより、躓いた箇所を特定し、それに該当する手順書のページを表示し、解決のヒントを提示することで支援を行う。

② プログラミングエージェント

プログラム作成を支援するエージェントである。プログラムの内容を理解させることにより、より深い IoT システムの理解を期待できる。またハードウェアに依存する特異性があるため支援の必要性が高い。本エージェントの目的は、Arduino プログラムが動作させられない状況から、正しく動作させられるよう導くことである。図 4.5 の②に本エージェントの動作を記す。具体的にはプログラムから取得したセンサの値が不正であった際の対応策を提示する。プログラムの文法的な誤りは、コンパイラからの情報により修正するものとし、本エージェントの機能には含めない。本エージェントは、温度や照度が異常な値になっているか、0 になっているかで、原因が配線の不具合か、センサ値の送信設定に問題があるかを推測し、その旨表示することで支援を行う。学生はこれを見て、問題点を特定し、修正する。

③ 無線設定エージェント

無線通信設定の支援を行うエージェントである。ほとんどの学生は、IoT デバイスとゲートウェイ間の通信で使用される無線通信の設定経験が無く、これを構築することにより、高い達成感を与える効果が見込める。本エージェントの目的は、無線設定を失敗した状況から、無線が正しく接続するように支援することである。図 4.5 の③に本エージェントの動作を記す。まず無線モジュールや他の電子部品の配線に問題があるのか、無線設定に問題があるのかを取得したセンサの値で分類する。配線の問題の問題であれば、(1)「電子部品の配線」用エージェントを呼出し、問題の解決を図る。無線設定の問題であれば、無線設定画面を表示し、学生に設定誤りを確認させ、修正させることで支援を行う。

また、これらのエージェントが提供したヒントでも解決しなかった場合は、学生が教師に直接連絡する手段として、電子メールや LINE を使用する。

学生は、授業で実習結果を発表するための資料を作成する。自分の課題結果をまとめることで、自分が躓いた点を再確認する。授業では、他の学生の発表を聞き、議論を行うこと

で、自己の誤りと解決策を認識し、さらに新しい気付きが生じる可能性がある。これらの認識や気付きは、次の課題に取り組む際の助けになる可能性がある。

4.4. 実践

4.4.1. 構築環境の準備

本構築実習は、IoT プロトタイプ構築実習を事前課題とし、授業では、その結果の報告会を実施し、問題点を議論して解決していくとともに、IoT システムを用いたサービスのアイデアの発表を行った。学生が構築の際、アクセスする IoT プロトタイプ構築学習システムは、Moodle⁽¹⁵⁾を用いて構築した。また、3つのエージェントは、Moodle のレッスン機能を用いて実装した。

学生は、教師によって提示された課題を実施するために本システムにアクセスし、手順書や参考プログラムを入手し、それを用いて実習を行う。本実習で収集したデータは、Moodle のログ機能を用いて蓄積したもの、学生からの質問メールからのもの、週報・アンケートからのもの、そして授業にて学生が発表したものである。

4.4.2. 構築学習の実践

(1) 構築学習の流れ

図 4.6 に IoT プロトタイプ構築実習とアイデア創出の流れを記す。①学生に IoT システムの基本書と論文を読ませることにより、IoT システムの応用イメージを想像させる。次に IoT デバイスの構築を行う。IoT デバイスの構築は、②センサとアクチュエータのブレッドボード上への配置、およびデバイス制御マイコンである **Arduino** との接続と、③センサ値を取得する **Arduino** プログラムの作成を行う。この②と③の実習は、エージェントにより支援を行う。次に④IoT デバイスと IoT ゲートウェイを無線で通信するための無線設定を行う。本実習もエージェントによる支援を行う。

次に⑤無線ネットワーク回線とインターネット回線を中継する IoT ゲートウェイの設定を行い、⑥クラウドでのデータ処理を行うための設定を行い、IoT プロトタイプシステムを完成させる。

最後に⑦IoT プロトタイプシステムを構築したノウハウを踏まえ、IoT システム応用アイデアを考えさせ、発表・議論により、より深い現実性の高いシステムを検討させる。

(2) 構築学習と授業の実践

本論文では、4.1 節で実装した環境を用いて IoT プロトタイプシステム構築の実習と授業を、芝浦工業大学の授業にて実践した。芝浦工業大学は、工学系理学系を主体とした理工系の学部で構成されており、その授業カリキュラムも理工系授業が主体である。本実習は、

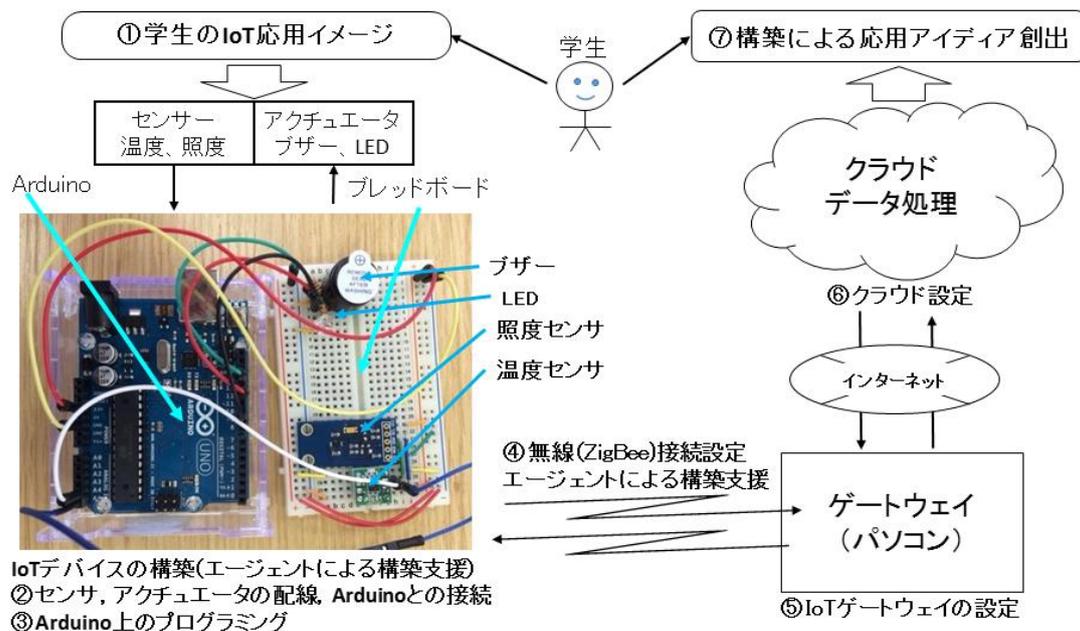


図 4.6 IoT プロトタイプ構築実習とアイデア創出

2015年度の1月から3月まで、隔週で、1回4～5時間、全5回実施し、参加者は3年生16名であった。また、2015年以降、本実習は、継続的に実施している

本実習は、全5回の授業として以下の様に行った。

(1) 第1回授業

① 課題

第1回授業では、IoTシステムの概要に関する講義を行い、その後宿題として一読させたIoTシステムの参考図書と論文の感想を発表した。論文としては、参考文献(11)を取り上げた。

② 授業での発表と議論

IoTシステムの参考図書と論文の感想を発表した。特に論文については、情報系の学習内容を、幼児教育・育児系の学生に実施し、実装実習まで完遂した点に驚くと共に、IoTプロトタイプシステムの構築に興味を持ったことがわかった。

(2) 第2回授業

① 課題

第2回授業では、Arduinoプログラム開発環境のインストールを宿題とした。ほぼ全員が達成できていた。ただし、インストールは正常に終了したが、プログラムが立ち上がらない学生がいた。

② 授業での発表と議論

開発環境のインストールについて、発表および議論を行った。議論は開発環境が動

作しない原因について特に活発に行われた。議論の中で、開発環境が動作しない理由は、32ビットOSのPCに64ビット用の開発環境をインストールしたことが原因であると気が付き、32ビット用の開発環境をインストールすることで、問題が解決された。

(3) 第3回授業

① 課題

第2回授業において、ブレッドボードの配線とプログラムの実行により、センサ値を表示させる方法を教え、ブレッドボードの配線を第3回までの課題とした。この際、「ブレッドボード配線用」エージェント機能を搭載した学習支援システムにアクセスして実習を実施させた。学生は手順書を確認しながら構築実習を進める。手順書でわからない内容は、エージェントが表示するヒントとなる内容を確認して進める。図4.7に学生が実習する際に使用する手順書画面とエージェント画面を示す。本図は、IoTデバイスの配線の実習画面であり、右側が手順書の画面、左側がシステム上に実装した配線エージェントの画面である。手順書では、電子部品の配置位置を記しているが、具体的な配置方法までは記載していない。エージェント画面では、間隔の狭い場所に抵抗を配置するヒントを示している。

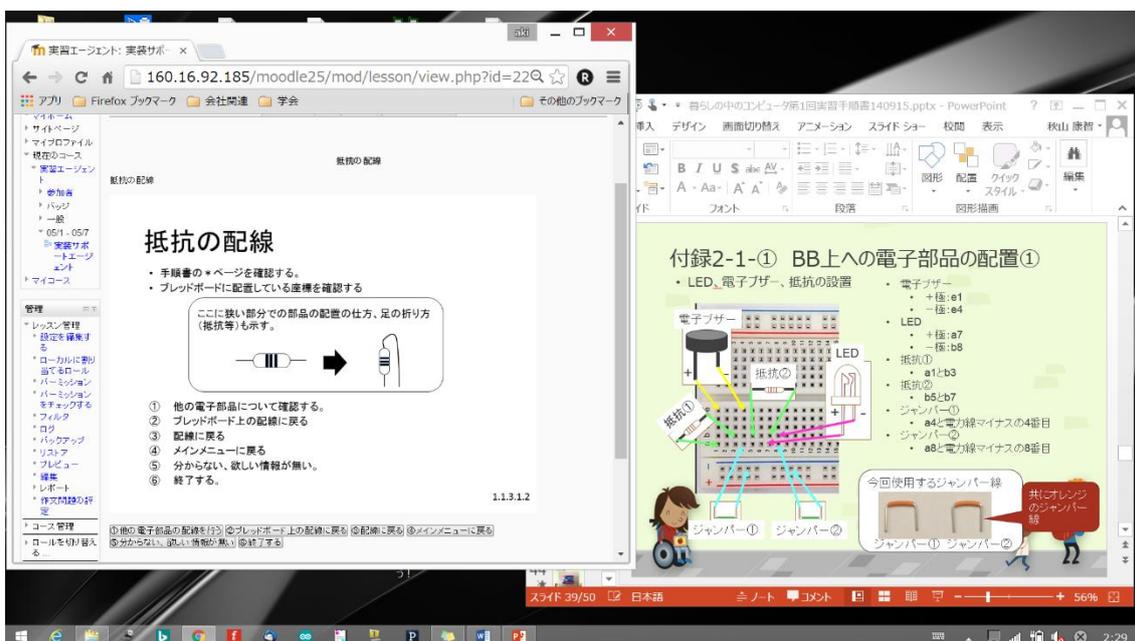


図 4.7 課題実習画面（支援エージェント（左），手順書（右））

⑥ エージェントによる学習支援

表 4.1, 図 4.7 に 3 つのエージェントの支援結果を記す。表 4.1 の(1)にブレッドボード配線用エージェントのアクセス結果を記す。実施結果として、完遂したのは 10

名、一部不明な点を除いて、8割以上達成できた学生は4名であり、全員がほぼ達成できた。また、アクセス画面11に対し、14名がアクセスし、その回数は508回であり、学生1人当たり1画面に対し、3.3回アクセスしたことになる。また、システムのレスポンスは、ネットワークの輻輳状況や、サーバの負荷状況に影響されるが、2秒～3秒であり、学生は遅いという感想は持ったが、許容できる範囲であった。アクセス時間は2時間から3時間であり、それが電子部品の配置を行っていた時間であった。図4.7は、各支援エージェントを用いた際の構築の達成度を学生の自己判断結果を示したものである。本情報は学生にアンケートを書かせた内容から収集した。配線エージェントは、7割の学生が完了、3割の学生が8割の達成度を自己判断した。

③ 授業での発表と議論

ブレッドボードの配線についての発表および議論を行った。エージェントの支援でも解決できなかった問題に対し、議論の中で、LEDと照度センサの外観が似ている点が話題となり、そこからLEDと照度センサを逆に配置していたことに気が付いた。また、正常に配置しているが、プログラムが動作しない学生がおり、これは教師が試行錯誤を重ねて、USBケーブルが断線していることに気が付き、正常なUSBケーブルを使用することで解決した。

(4) 第4回授業

① 課題

第3回授業において、センサ値を取得して表示するArduinoプログラムの構造の説明と、その変更方法を解説し、プログラムの変更を第4回までの課題とした。この際、「Arduinoプログラミング用」エージェント機能を搭載した学習支援システムにアクセスして実習を実施させた。

② エージェントによる学習支援

表4.1の(2)にArduinoプログラミング用エージェントのアクセス結果を記す。実施結果として、完遂できたのが2名であり、他の12名は、ほとんどできていない状況であった。また、アクセス画面11に対し、14名がアクセスし、その回数は115回であり、学生1人当たり1画面に対し、0.7回アクセスしたことになる。システムのレスポンスは、1回目、2回目と同様の2秒から3秒であり、学生からの苦情は無かった。アクセス時間は0.5時間から1時間であり、それがプログラミングを行っていた時間であった。プログラミングエージェントは、15%の学生が完了、85%の学生が5割以下の達成度を自己判断した。

表 4.1 エージェントの支援結果

		(1) 配線支援 エージェント	(2) プログラミング 支援エージェント	(3)無線設定 支援エージェント
実施結果	完了	10 人	2 人	10 人
	8割	4 人	0 人	6 人
	5割以下	0 人	12 人	0 人
アクセス結 果	画面数	11 画面	11 画面	10 画面
	回数	508 回	115 回	206 回
	学習時間	2～3 時間	0.5～1 時間	0.5～1 時間
	レスポ ンス	2～3 秒	2～3 秒	2～3 秒
	人数	14 人	14 人	14 人
	実施時刻	9 時～12 時 (15%) 13 時～17 時 (80%)	9 時～12 時 (40%) 13 時～17 時 (60%)	9 時～12 時 (50%) 13 時～17 時 (50%)
質問メール	受信回数	6 回	1 回	4 回
	人数	4 回	1 回	2 回

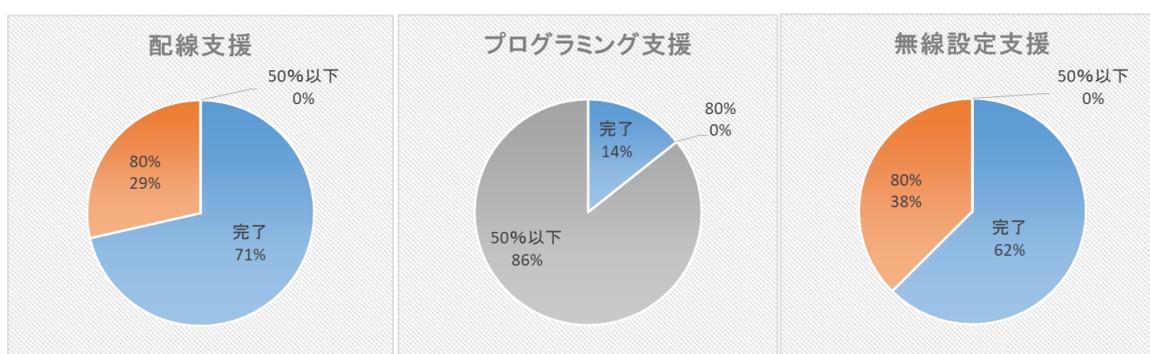


図 4.7 構築支援結果

③ 授業での発表と議論

課題であった Android プログラムの実施結果について、発表を行った。ほとんどの学生が完了できておらず、その理由としては、何をしたら良いかがわからなかったという内容であった。

(5) 第 5 回授業

① 課題

第 4 回の授業において、無線モジュールとして採用した ZigBee(16)の設定とクラウ

ドの設定とクラウド上のデータの確認方法を説明し、次回までの課題として、**ZigBee** 無線設定を与えた。この際、「**ZigBee** 無線設定用」エージェント機能を搭載した学習支援システムにアクセスして実習を実施させた。また、実習全体の感想と、IoTシステムのアイデア出しも合わせて課題とした。

② エージェントによる学習支援

表 4.1 の(3)に無線設定用エージェントのアクセス結果を記す。実施結果として、完遂できた学生は 10 名、一部不明で完遂できなかった学生が 6 名いた。アクセス画面 10 に対し、12 名がアクセスし、その回数は 206 回であり、学生 1 人当たり 1 画面に対し、1.7 回アクセスしたことになる。また、システムのレスポンスは、2 回目と同様の 2 秒から 3 秒であり、学生が許容できる範囲であった。アクセス時間は 0.5 時間から 1 時間であり、それが無線設定を行っていた時間であった。

また、エージェントで解決できなかったのは、手順書通りに無線設定を実施したが、IoT デバイス上のセンサから取得したデータが、IoT ゲートウェイに送られないという内容であった。手順書や、チェックプログラムを使用しても特に問題無く、メールでのやり取りでは、解決に至らなかった。無線設定エージェントは、6 割の学生が完了、4 割の学生が 8 割の達成度を自己判断した。

③ 課題結果の発表と議論

無線設定について、発表議論を行った。センサデータがゲートウェイに送られない問題に対し、議論の中で、無線設定ツールにより **ZigBee** の通信設定を、PC に繋げるルーター側と IoT デバイス側に繋げるコーディネータ側のそれぞれの設定を行うのだが、設定した **ZigBee** 無線機器をそれぞれ逆に接続してしまっていたことに気が付いた。正常に接続した結果、データがゲートウェイに送られることを確認できた。

④ アイディアの発表と議論

最終授業であったため、これまでの実習の振り返りとして、実習を通じて得られたこと、構築実習で苦勞した点、および IoT システムを用いたサービスに関するアイデアを発表させた。表 4.2 に発表の結果を示す。

表 4.2 の(1)に、学生が実習を通じて得られたことと認識した内容を記す。実際に IoT プロトタイプシステムを作成し、動作させることにより、システムの実感を得たと言う学生が多数であった。特にセンサ値により、システム全体の動作が決まることを体感し、センサの重要性を強く認識した学生もいた。また、作業に躓いた際、どのように対応すべきかの良い練習になったと感じている学生もいた。

表 4.2 の(2)に、学生が実習で苦勞した点と認識した内容を記す。作業につまずき、エージェントが表示する画面の内容を実施しても解決しない場合の教師との連絡手段にメールを採用したことに不満を抱いている学生が多くいた。メールで質問を出すことは、疑問点を整理し、文章にまとめる必要があるため、学生のほとんどが、

気軽に送ることができなかった。また、教師側として、質問の回答をリアルタイムで送ることができず、数時間後から翌日以降となってしまった。

表 4.2 の(3)に、学生の支援エージェントに対する意見を記す。配線支援エージェントと無線設定支援エージェントは、構築支援においては役に立った。しかしエー

表 4.2 全実習終了後の学生発表内容

(1) 実習を通して得られたこと
<ul style="list-style-type: none"> ・実際にものづくりの経験をしたことによってシステムを作っているという実感が得られた。 ・教科書で読むのと、実際に作るのとでは、全く違う。実際にやってみて気付くことが多かった。 ・IoTにおいてセンサの大切さを実感した。 ・障害に対しての対応法がわかった気がする。
(2) プロトタイプ構築実習についての意見（苦労した点）
<ul style="list-style-type: none"> ・わからない時にすぐに相談できない。質問をメールで送るのは、文章を書くのに時間がかかり、また回答を待っている間は作業が止まる。チャットのような気軽に使えるものが良い。 ・他のうまく行っている人の機材を借りることができないため、部品の不良に気が付かない。
(3) 支援エージェントについての意見
<ul style="list-style-type: none"> ・配線支援エージェント <ul style="list-style-type: none"> ・狭い間隔での抵抗の配置の方法は、エージェントにアクセスして解決できた。 ・似ている部品を間違えたことは、わからなかった。 ・プログラミング支援エージェント <ul style="list-style-type: none"> ・どの様にプログラムを変更すれば良いかわからず、エージェントを有効に使えなかった。 ・無線設定支援エージェント <ul style="list-style-type: none"> ・はじめは動かなかったが、エージェントのヒントで、解決できた。 ・無線部品を逆に接続したことに気が付かなかった。
(4) IoT システムを用いたサービスのアイデア
<p>独居高齢者宅への危険温度注意喚起システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人感センサにより在宅を確認し、温度センサにより温度が規定内を越えた場合、注意を喚起する。しばらく反応が無ければ、警察等に連絡する。
<p>目覚まし時計の故障による寝坊防止</p> <ul style="list-style-type: none"> ・速度センサにより、時計の針が動いていることを認識、時計が止まっていたら、PC やスマホに音を鳴らす様に制御する。
<p>電車内混雑自動検出システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・つり革のセンサから、各車両の乗車人数をクラウドに上げ、どの車両が空いているかを提示する。
<p>建物における人の出入り管理システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・出入口に人感センサとカメラを設置し、顔データをクラウドに上げ、警察データベース等で照会し、犯罪者・不審者の場合、警察等に連絡する。
<p>下駄箱を用いた在室検知システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下駄箱に重さセンサを取り付け、下駄箱の靴が入っている場所の情報をクラウドにあげる。いつでもどこからでも研究室に誰がいるかを確認できる。
<p>室内温度の自動最適化システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサにより、外気の温湿度、天気、現在の室温等の情報をクラウドに送り、データ内容を分析し、リアルタイムに空調器に適切な制御命令を送る。
<p>居室内人間確認システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究室の椅子に圧力センサと音センサを具備させ、情報をクラウドに送り、遠隔から誰がどの椅子に座っているかを確認できる。
<p>集合住宅における各部屋の騒音防止システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集合住宅の各家の騒音データをクラウドに送信し、グラフ等の見える化を行い、問題のある家を判定し、トラブルが起こる前に連絡する。

エージェントで解決しなかった不良品や、部品の誤り、また接続場所の誤りに対する対策を求める意見もあった。またプログラミングエージェントに関しては、どの様にエージェントに問い合わせれば良いかがわからなかった学生がほとんどであった。

また、本実習の最後に IoT システムを使用したサービスのアイデアを発表させた。アイデア総数は、同様の内容を合わせると、1 人平均 3 件の 45 件となった。表 4.2 の(4)に主要なものを記す。

4.5. 結果と考察

4.5.1. 結果

本節では、支援エージェントの効果、および授業での発表と議論の効果、そして学生が出した IoT システムを応用したアイデアの内容を基に記す。

① 支援エージェントの結果

まず本構築学習において提案した 3 つのエージェントの実践結果を以下に記す。

電子部品の配線実習では、14 人中 10 人が完了、4 人が 8 割以上完了できた。よって本エージェントは、その目的を十分に果たしたと考える。これは、「電子部品の配線」の実習内容が、学生がつまずくと予想される内容を容易に網羅でき、特定することができたためであると考え。課題点としては、外観の似ている部品や壊れた部品の対応であった。今回の構築では使用した照度センサと LED の外観が似ていたため、LED を照度センサと勘違いして配線してしまったため、正常に動作できない学生がいた。部品の不良や壊れた際の対応を、エージェントに設定していなかったため、解決できなかった。

次にプログラミング支援エージェントの結果について記す。Arduino プログラミングでは、14 人中 2 人が完了、12 人が完了できなかった。エージェントは、その目的を果たすことができなかった。学生は、本授業にて Arduino プログラミングを初めて学習したこともあり、プログラムの基本を修得したに留まった。その結果、課題であるプログラミングの応用に苦戦し、課題を達成できなかった学生がほとんどであった。これは前回の課題の説明等に授業時間を割いたため、プログラミングの学習が基本事項に留まり、応用の説明が不十分であったことと、エージェントに、授業で習った内容の復習と、そこから課題内容に繋がる導線を示して実習支援を行う設定が、不十分であったための結果と考える。

最後に ZigBee 無線設定支援エージェントの結果について記す。本無線設定は、16 人中 10 名が完了した。よって本エージェントは、その目的を果たしたと考える。エージェントでは解決できなかった課題として、デバイス側、ゲートウェイ側の設定を行った無線モジュールを、それぞれ逆に接続したため、通信ができなかったことが生じた。これは、無線モジュールに同じ部品を使用していたため、見た目では判断できなかったからである。

② 授業での発表と議論

エージェントによる支援でも解決できなかった問題に対し、授業にて学生が課題の結果発表と議論を行った。その中で導き出された、原因の気付きと解決案について、以下に記す。

配線課題の発表では、解決できなかった問題として、外観の似ている部品や、壊れた部品の配線であった。これらの問題は、議論の中で、似ている部品の存在に気付き、確かめることで、自己の誤りを認識した。また正常に動作している学生との差異を確認する中で、差異が見つからず、部品故障の可能性に気付き、部品を借りて配置したところ、正常に動作した。

プログラミング課題の発表では、基本となるプログラム構造を理解していない状況であったため、わからない内容がうまくまとめられず、言いたい事を明確に伝えることができなかった。その結果、十分な議論を行うことができず、課題となった。

無線設定課題の発表では、解決できなかった課題として、デバイス側、ゲートウェイ側の設定を行った無線モジュールを、それぞれ逆に接続したため、通信ができない事態が生じた。これは、無線モジュールに同じものを使用していたため、見た目では判断できなかったからである。しかし、宿題の発表と議論の中で、その原因に気付き、対応することができた。

③ 学生が出したアイデア

アイデアの内容としては、自分の生活空間である、大学の研究室や通学に使用している電車、住居に関連するものがほとんどであった。これは、自分が普段の生活の中で、問題と感じていることに対する解決策として考えた結果であり、構築を通じて、IoTシステムを実感できたことに起因するものであり、支援エージェントを用いた自己学習と、授業での発表と議論で構成された本教育法により、教師の負荷を軽減したものづくり教育の実現の可能性を見出すことができたと考えられる。

4.5.2. 考察

本節では、本報告で提案した教育法について、実施した結果基に考察を記す。

① 支援エージェントに関する考察

本報告では3つの支援エージェントを提供し、学生の自己学習の支援を実施した。配線支援エージェントと、無線設定エージェントに関しては、教師の代わりに構築支援を行うことができたが、プログラミング支援エージェントに関しては、十分な支援とならなかった。

これは、配線や無線設定の作業が、ブレッドボードの座標や、設定ツールの使い方など、簡単な事前知識があれば可能であることが挙げられる。また、実習内容が比較的単純であり、正解/不正解がわかり易かったことが挙げられる。このため支援エージェントの設計も作業内容を順番に進めていくものとなり、比較的単純に作成することができた。

しかし、プログラミングは、構成の自由度が高いため、命令記載の順番や使用する関数

が異なっても、正しく動作するということが容易に生じる。つまりプログラミングを支援するエージェントには、正解が複数ある場合があることを想定して設計する必要があった。そのため、授業で示した基本的なプログラミングの理解に留まり、そこから応用形を作成するための支援機能が不十分であった。参照するプログラムの基本形のパターンを増やす等、支援機能の拡充が課題となった。

② 授業での発表と議論に関する考察

配線と無線設定については、支援エージェントでは解決できなかった部品の選択ミスや、壊れた部品の発見、部品の接続誤り等があったが、ほぼ全ての問題は、議論の中で解決することができた。

これは学生が課題の結果を発表し、議論することにより、自分のつまづいた点を明確化することができ、また他人の意見を聞くことにより、エージェント支援では解決できなかった問題に対する解決策に気付いた学生が多かった。これは学生が、自己の問題として、主体的に議論に参加することができたためと考える。

これにより IoT システムについての理解を深めることができたとともに、問題に対する解決へのアプローチを実感として学ぶことができたと考える。

③ アイディアに関する考察

本実習により、考えさせた「IoT システムを使用したサービス」のアイディアは、学生たちにとって自分の生活に関係する具体的な内容がほとんどであり、実装体験により、学生が IoT システムを実感し、理解した結果と考える。またアイディアの発表では、どの学生も IoT システムの各構成要素を具体的に考慮しており、これは各構成要素の構築実習による実感に基づいた理解による結果と考える。また、アイディアの発表と、それに対する議論により、新しい気付きを誘発させ、自己のアイディアをブラッシュアップさせることができた。

④ 本教育法全体に関する考察

本報告において、学生は支援エージェントを使用して、IoT プロトタイプシステムを構築するものづくり実習を自己学習で経験し、さらに実習後の発表と議論により、自己の問題点を明確化し、解決策に気が付き、構築を完成させた。その経験を踏まえて、自己の身近な問題を解決する、IoT システムを適用したアイディアを考えさせた。この一連の経験の中で学生は IoT システムを体感できたと考える。

本実習を通じて、約 70%もの学生が自身の今後の課題として、IoT システムや、プログラムについての知識の習得が必須であると考えており、これは実習により、IoT システムが今後、自分たちの生活に密着するシステムとして拡大していくことを実感し、そのために、自分に何が足りないかを痛感したことに起因すると考える。

また、学生が今後取り組みたい内容については、IoT システムに関する研究が多数であ

り、具体的には、センシングデータの重要性に気付き、今後はセンサの研究を実施していきたいという学生もいた。これは、本研究のエージェントによる構築自習と授業での発表と議論が、実習教育に適用できる可能性を見出すことができ、対面授業による実習と同様の結果を得ることができた考える。

4.6. 4章のまとめ

本研究の目的は、1章で述べた通り、IoTシステムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存なIoTシステム教育法を確立することである。本研究では、従来のものづくり授業と比較して、教師の負荷を下げ、一度に指導できる学生数を増やすことができるIoTシステム教育法を開発することが目標とした。

学生にIoTプロトタイプ構築を課題とし、構築支援を行うエージェントを具備したWeb学習システムを開発し、学生に提供して実習させた。実習後の授業では、実習結果の発表と議論を行うことで、学生に新しい気付きを与えることができた。その結果、ほとんどの学生が、IoTプロトタイプシステムの構築を完遂し、本実習・発表・議論を通じて、IoTシステムの応用アイデアを考え、今後のIoTシステムに対する各学生の自己の課題や取り組みについて学生が積極的に議論することができ、本教育法により、教師の負荷を軽減したのものづくり教育の実現の可能性を見出すことができたと考える。

本研究で開発した成果物を以下に記す。

- ・ 自習によるIoTプロトタイプ構築と、PBL型授業を組み合わせたIoT教育法
- ・ 構築支援を行うエージェントの開発
- ・ エージェントを具備したIoTプロトタイプ構築支援システム

5. プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系に非依存のIoT教育への展開

本研究の目的は、1章で述べた通り、IoTシステムが社会システムの基盤となってきた現状を鑑み、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存なIoTシステム教育法を確立することである。本目的を達成するために、これまで実践を行ってきた文系や情報系学科に加え、農学系、工学系（工学、電気、機械）を含めた全ての分野の学生が構築できるプロトタイプ構築を基にしたIoT教育法を開発し、各分野へ展開していくことが、本章の目標である。

本章では、文系、情報系学科に加え、農学系、非IT系（工学、電気、機械）を含む、各専門分野の学生が実施できるプロトタイプ構築法を開発した。そして、各分野の学生への展開を働きかけるとともに、農学系を題材にしたIoTプロトタイプシステム構築による教育法を、企業技術者教育に適用し、実践を行った。

5.1. はじめに

IoT(Internet of Things)の進展はめざましく、製造業、サービス業、農業や社会インフラに適用されつつあり、今後の社会インフラの基盤の1つになっていくことが予想される¹⁴⁾。そのため、IoT人材には、IoTを理解し、自分の分野に応じた応用システムを創出することが必要とされ、その人材教育が重要となる。

IoTシステムは、センサーネットワーク、情報処理技術などから構成される技術であるため、技術分野としては、情報系に属するが、比較的容易に構築が出来るプロトタイプシステム構築方法があれば、情報系以外の工学系、農学系、または文系の分野の学生もプロトタイプ構築の可能性がある。さらに、構築作業によってIoTシステムの特徴を知り、それが基点となってシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。アイデアの創出は自らの専門分野に依存する場合が多いため、IoTシステムのアイデアに関しては、情報系以外の非情報系の学生の視点からも、ユニークなアイデアの創出を期待できる可能性があると考えられる。

以上のようなことから、IoTシステムの理解を深めるには、プロトタイプシステムを構築することが重要である。

本研究では、情報系以外の工学系、農学系、文系の各分野の学生もIoTプロトタイプを構築可能な手法を提案する。この手法の骨子は、IoTを構成する要素をデバイス技術、システム技術、応用技術に分け、構築ではそれぞれの技術をさらに3段階に分ける。各分野の学生は、自分の専門性に依じた段階区分を使って構築をする。学生は、プロトタイプの構築によって、IoTの特性を理解し、自分の専門に対応した応用のアイデアを創出することが可能になる。

さらに本研究では、この構築法を基に、基本技術の解説、プロトタイプ構築、およびアイデア創出から構成するIoT教育カリキュラムを提案する。カリキュラムの構成では、

デバイス技術，システム技術，応用技術を通して学習する形態と，それぞれの技術について基本技術の解説とプロトタイプ構築をセットにしたモジュールとして学習する形態の 2 種類を採用している．後者の場合は，既存の科目の中に取り入れられる可能性を期待している．

また，農学系に適用した IoT プロトタイプシステム構築による IoT 教育法を，企業技術者を対象に実践を行った．

これまで本提案の内容の一部を，情報系，文系に適用し，プロトタイプ構築の実現性やアイデア創出の可能性を見出した (2 章，3 章)．さらに，現在，工学系，農学系の教員と IoT 教育とカリキュラムの意見交換を実施しており，この過程でカリキュラムの可能性を見出しつつある．IoT システムが情報系，工学系，農学系，文系の多くの分野で教育され，学生が専門性に対応した応用の見識をもつことは有意義と考える．工学系は，電気，機械，建設，化学と分野が広いが，本研究では，電気，機械を対象とする．文系も同様に教育，法学，文学と分野は広いが，本研究では，教育系を対象とする．

本研究では，5.2 章で IoT システム教育の現状と課題を述べ，5.3 章でプロトタイプ構築に基づく IoT 教育方法を提案する．5.4 章で企業技術者へ IoT 教育法を展開した実践内容について述べる．5.5 章で本提案を各分野へ展開して行く策について論じる．

5.2. IoT システム教育の現状と課題

5.2.1. IoT プロトタイプシステム

IoT 技術開発や解説に関しては，多くの研究が報告され，書籍も発行されている^{5)~8)}が，IoT 技術教育に関する報告例は少ない．IoT は，インターネットの応用の 1 つとして説明され，プロトタイプを構築する教育はほとんど無かった．情報系の学生が，IoT を構成する主要技術であるセンサ技術，ネットワーク技術，情報処理技術など複数の技術を修得しなければならないため，構築は容易ではない．アイデアがあっても，IoT プロトタイプの構築には至らず，アイデア倒れになることが多い．特に情報系以外の理工系学生や文系の学生には，アイデアがあっても IoT プロトタイプの構築はかなり困難である．

筆者らは，IoT プロトタイプシステム構築によるものづくり教育システムを提案し，教育現場で実践することにより，構築手順を明確にした IoT プロトタイプシステムの構築であれば，比較的容易に構築ができ，IoT の知識が得られることを示した¹⁰⁾．また，文系の学生に対して，IoT プロトタイプシステムの構築によるものづくりの体験と，その体験からのアイデア創出を狙いとする教育を実践した¹¹⁾．この教育では，プロトタイプ構築の手順書を，情報技術の一般的内容にとどめた内容にして，構築の実習を行った．実習を段階的に分け，学生がどの部分を構築しているかを明確に理解すると共に，実習に躓いた際，前段階までは正しいことが保証されるため，誤った箇所を特定しやすい利点があった．文系の学生は，IoT システムの構成要素を結合して組み立てることで，システムを動かすことを実体験し，その実体験の中から，アイデアを創出する目的を達成できた．また，さらに筆者らは，IoT 教育の一環として，大学，高専の情報系学生をしたセミナーを開催し，学生の発表会を

行ってきた¹²⁾.

以上3つの経験から、筆者らは、次項のような所見を得た。

- ・ 情報系学生のプロトタイプ構築は構築手法を学ぶことにより可能である。
- ・ 文系の学生も簡易な構築方法を学ぶことによりプロトタイプ構築ができ、自分の専門に対応した応用に関するアイデア創出も可能である。
- ・ 工学系、農学系も専門に応じたデバイスの活用とセンサからのデータ処理を学習することにより、プロトタイプ構築ができる可能性がある。

5.2.2. IoT プロトタイプ構築の意義

現在実用されている IoT システムの典型的な構成を図 5.1 に示す。図において、IoT システムは、機械・機器、設備、備品などの「もの」のセンサデータを収集し、人手を介さずにインターネットに接続し様々なサービスを提供する技術であり、工業、農業、施設産業、交通、流通、医療、福祉、教育などの多くの応用分野で活用されつつある。

IoT は、センサ技術、アクチュエータ技術、インターネット技術、情報処理技術の融合のシステム技術である。このような IoT システムを理解し、構築するには情報技術に関するかなりの能力と経験が要求される。しかしながら、IoT システムの各構成要素を簡略化して、組み立てるプロトタイプならば、情報系以外の学生にでも構築の可能性があると考えられる。このプロトタイプは、IoT 構成要素に関する詳細な専門知識が無い学生でも、その組合せを考慮することにより IoT プロトタイプシステムを構築することができる。

図 5. 2 に筆者らが試作し、教育に活用している IoT プロトタイプシステム構成を示す。アクチュエータとセンサ、およびそれらを制御するデバイスコントローラで構成される IoT デバイス、IoT デバイスから情報を受け、クラウドに送信する IoT ゲートウェイ、受信した

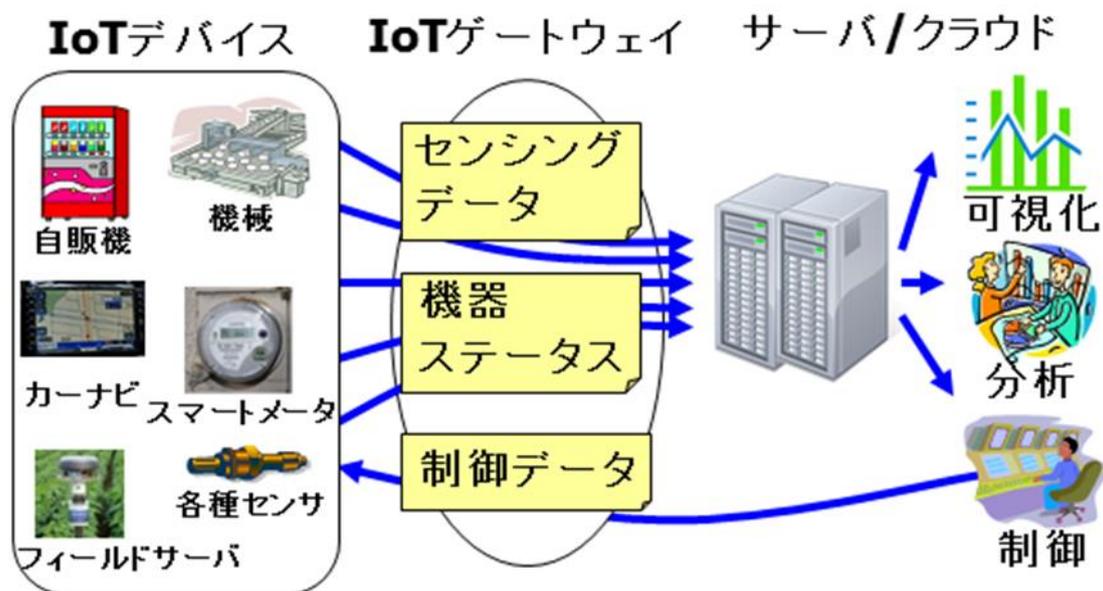


図 5.1 IoT システムの典型的な構成

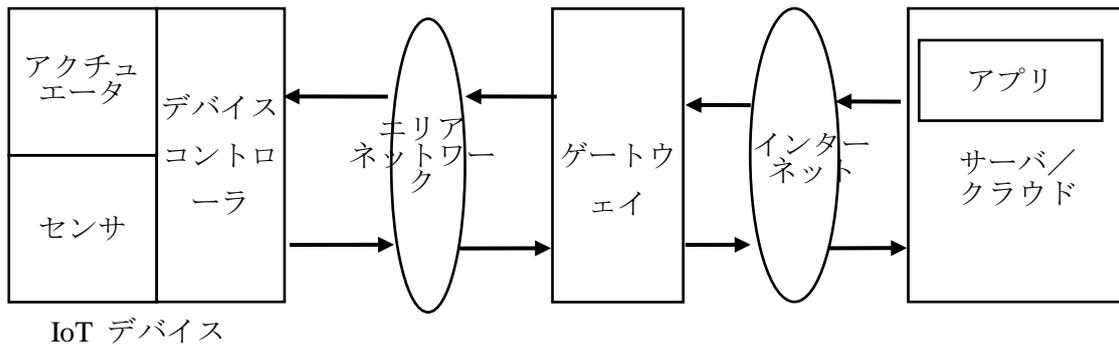


図 5.2 IoT プロトタイプの基本構成と構築技術

データを処理し、適切なフィードバックを返すクラウド/サーバで構成される。

応用分野の事例の拡大に対しては、各分野の特徴に関連したアイデアの創出が重要である。プロトタイプシステムを構築することによって IoT システム全体を理解し、さらにシステムのサービスについてのアイデアが創出される可能性がある。創出されたアイデアは、自らの専門分野に依存する場合が多いため、各分野から様々なユニークなアイデアの創出を期待できる。

IoT システムに関し、情報系、工学系、農学系、文系の学生には、一般的に次項の傾向があると言える。情報系の学生は、IoT システムの構成技術全般に通じており、特にシステム技術、応用分野のソフトウェア作成には、知識を持っており、理解力も深いと言える。一方、デバイス、応用システムに関する知識は限定される。工学系・農学系の学生は、デバイス技術と応用システムには専門領域の知識を持っている。文系の学生は、特定の応用分野については、豊富なアイデアを持っている。

5.3. IoT システムの教育

5.3.1. 概要

本章では、プロトタイプ構築をベースとした IoT システム教育について提案する。本教育は、①講義、②構築実習（以下、構築と称す）、および③アイデア創出の 3 つの要素で構成される。各教育構成要素の概要を以下に示す。

- ① 講義：IoT の機能と仕組み、および応用に関する基礎知識の理解。

IoT のシステム構成や、構成要素の機能、それらを組み合わせて 1 つのサービスを提供するデータの流れ等、IoT の基本技術について理解させる。

- ② 構築：理解を深めるために、「IoT プロトタイプ構築法」を活用した、プロトタイプの構築によるシステムの理解。

①で学んだシステムを、実際に構築し、動作させることにより、IoT のしくみを理解する。

- ③ アイデア創出：各専門分野の課題やニーズを解決する IoT システム

②の実習の後、自分の専門分野における課題やニーズに対し、IoT システムを適用して解決策となるアイデアを創出し、発表・議論を実施する。

5.3.2. IoT プロトタイプ構築法

(1) 基本構成

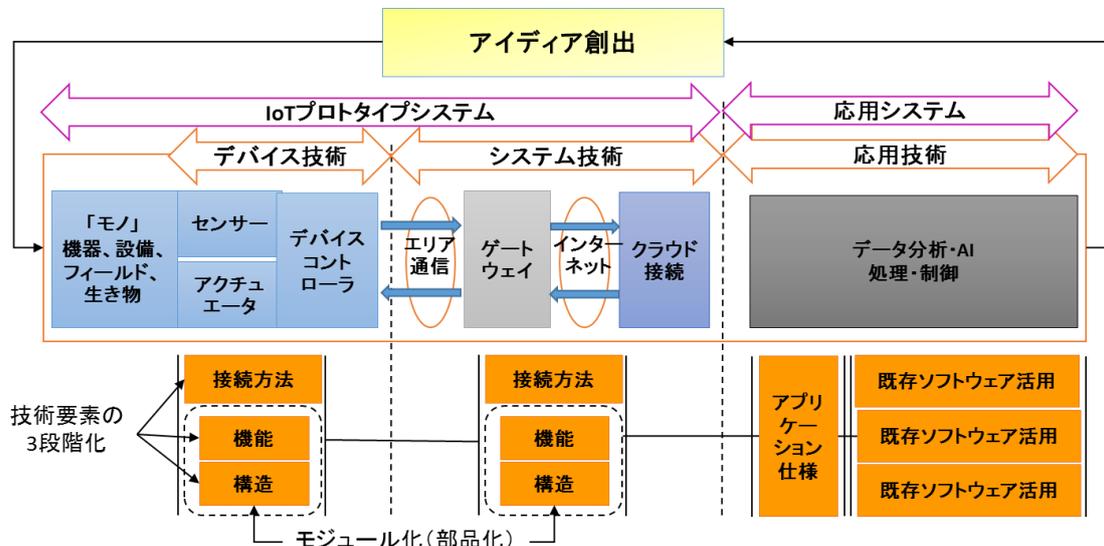


図 5.3 IoT プロトタイプの基本構成と構築技術

IoT プロトタイプ基本構成を図 5.3 に示す。図において、IoT プロトタイプシステム構築技術として、デバイス技術、システム技術、応用技術の3つに分ける。デバイス技術は、センサ、アクチュエータ、およびそれらの制御を行うIoTデバイス上の技術である。システム技術は、IoTデバイスからのセンサ情報を受け取って、クラウド上での情報処理による結果を判断し、アクチュエータ制御命令をIoTデバイスに送る技術である。応用技術は、各分野の課題やニーズに対し、IoTの応用を創出する技術である。また、デバイス技術、システム技術については、学生のリテラシーに合わせて、接続方法のみ、機能、構造に分け、学習する深さを調整する。この組み合わせにより、情報系にも、非情報系にも対応した教育法を構成する。応用技術は、自分の専門分野での応用システムを考慮して、アプリケーション仕様を検討し、それを実現するに当たり、使用している既存のソフトウェアが適用できないかを検討し、より現実的な応用を考えさせるようにする。

IoT プロトタイプの構成要素としては、IoT デバイス、ゲートウェイ、およびクラウド/サーバとそれらを接続するエリアネットワークとインターネットのネットワークで構成される。IoT デバイスは、センサとアクチュエータで構成し、デバイスコントローラとしてオープンハードウェアである Arduino や Raspberry Pi 等を使用する。アクチュエータは、その動作を容易に確認できる LED、ブザー、モーター等を使用する。センサは、扱い易く安価な温度、湿度、大気圧センサ等を使用する。センサーネットワークは、無線ネット

ワークとして ZigBee や Bluetooth 等を使用する。IoT ゲートウェイは、IoT デバイス側ネットワークとクラウドネットワーク側のゲートウェイとして機能できる PC または Raspberry Pi 等を使用する。クラウドサービスとしては、Amazon Web Service や Microsoft Azure 等の

クラウドサービスや、ある範囲では無料でも使える AT&T M2X 等を使用する。

(2) 分野別構築のための3段階化

本 IoT 教育方式では、対象学生の分野として、情報系、工学系、農学系、文系の4つに分ける。

- ① 情報系は、IoT の基盤技術であり、デバイス技術、システム技術、応用技術ともに学習の範囲だが、デバイス技術は、その構造までは深く学ばない。一方、システム

表 5.1 IoT 技術の分類と段階の定義

段階	デバイス技術	システム技術			応用技術	
	デバイス	センサーネットワーク	ゲートウェイ	インターネット	クラウド	APP システム仕様
I/F	センサ、アクチュエータ、マイコンの基本的な使い方	利用するための設定ができる	操作ができ、プログラムの実行ができる	利用するための設定ができる	設定や変更ができ、操作ができる	課題やニーズが理解できる
機能	センサ、アクチュエータの選択やマイコンのプログラムが理解でき、修正できる	エリアNWの種類がわかる	プログラムがある程度理解でき、修正ができる	プロトコルが理解できる	クラウドサービスプログラムがある程度理解でき、修正ができる	課題やニーズのIoTによるアイデアが考えられる
構造	センサ、アクチュエータの特性を知っており、マイコンプログラムが開発できる。	利用環境に適したセンサNWが構築できる	プログラムの開発ができる	プロトコル設計が出来、双方向通信プログラムが書ける	クラウドサービスを活用してプログラムの開発ができる	課題やニーズのIoTによる解決方法が提示できる

表 5.2 IoT の分野別取得技術内容

分野	技術分野	デバイス	システム		応用	
	段階	・センサ ・アクチュエータ ・コントローラ	エリアNW, ゲートウェイ, クラウド インターネット	システム仕様	ソフトウェア作成	
情報系	I/F	↓	↓	↓	↓	↓
	機能	○	↓	↓	○	↓
	構造	—	○	○	—	○
工学 (機械, 電気)	I/F	↓	↓	↓	↓	↓
	機能	↓	○	○	↓	△
	構造	○	—	—	○	—
農学	I/F	↓	↓	↓	↓	○
	機能	↓	○	○	↓	△
	構造	○	—	—	○	—
文系	I/F	○	○	○	↓	△
	機能	—	—	—	↓	—
	構造	—	—	—	○	—

技術については情報通信やクラウド技術に強く、その構造を含めた深い知識が必要となる。応用技術は情報システム応用が主となるが、ソフトウェア力を生かしたプログラム作成に強みがある。

- ② 工学系は、デバイス技術に強みがあり、一般にセンサやアクチュエータに強い。さらに、電気、機械系を専門とする学生は、その応用分野に関心と知識が深い。
- ③ 農学系は、農業機械などの分野では、工学系と同様、デバイス技術に強みがある。農産物分野では、専門の応用面の関心と知識が深い。
- ④ 文系は、IoT 関連の技術経験は少ないが、IoT を知ることによる専門分野の応用技術の発想が期待できる。

以上の各分野の特質を勘案し、プロトタイプ構築におけるデバイス技術、システム技術、応用技術を、接続方法(**Interface** : 以下、**IF** と略称する)、機能、構造の3段階に分ける。

- ・ **IF** については、要素の中身の機能の概略と使い方を知り、機能の詳細や構造・仕組みは触れず、要素間の接続の知識を使う。
- ・ 機能については、**IF** に加えて要素の機能の詳細を知る。
- ・ 構造については、**IF**、機能に加えて構造や実装法、仕組みについて知る。

IF、機能、構造のそれぞれは、構築手順に明記する。

この3段階と要素技術との関係を表 5.1 に示す。情報系、工学系、農学系、文系の学生は、図 5.3 に示したと同様に表 5.1 中のデバイス、システム、応用の各技術に対し、**IF**、機能、構造の段階のいずれかを選んで組合せ、プロトタイプ構築を行う。情報・非 IT (工学)・農学・文系の4つの分野と、デバイス、システム、応用の技術分野と、**IF**、機能、構造の3つの段階との関係を、表 5.2 に示す。表中の○は選ぶもの、－は選ばないもの、△はソフトウェアの判断を要するものを示すもの、↓は矢印の向きの段階に含まれることを示す。表中の応用のソフトウェアについては、**IF** では既存のソフトの使用を、機能では既存ソフトの一部変更を、構造では新たなソフトの作成を行う。情報系は、デバイスでは機能までを、システムでは構造までを、応用では機能までを、学習対象とする。非情報系は、デバイスは構造までを、システムおよび応用では、機能まで学習対象とする。農学系は基本的には非情報系と同様である。文系は、デバイスおよびシステムは **I/F**、つまり利用できるレベルまでを、応用では機能までを学習対象とする。

5.4. 企業人技術者教育への展開

(1) カリキュラムの適用と実践

本研究では、農学系カリキュラムを、企業技術者への IoT システム教育の研修に適用し、以下の目的を実現するための構成を作り上げた。図 5.4 に本研修プログラムの構成について記す。

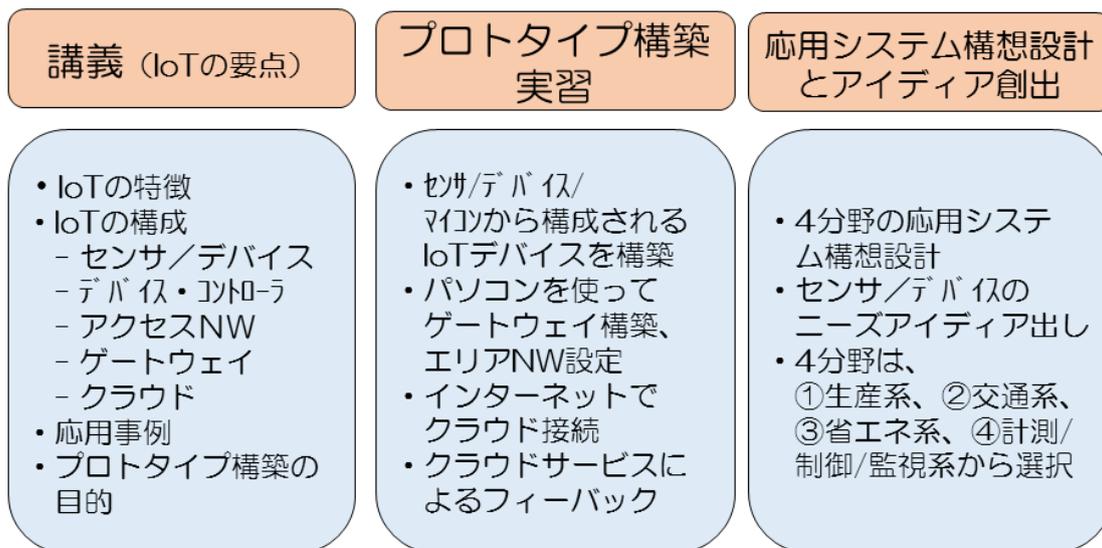


図 5.4 IoT 教育の構成

- ・ 「講義 (IoT の要点)」 + 「IoT プロトタイプ構築」 + 「応用の構想設計とアイデア創出」から構成され、実践的な IoT の理解に役立つ研修
- ・ 講義では、IoT システム概要、通信技術、センサとアクチュエータ、データ分析と活用技術、セキュリティ、保守・運用を学ぶ
- ・ IoT プロトタイプ構築は、事例をもとにセンサー・アクチュエータ、センサーネットワーク、ゲートウェイ、インターネット、クラウドの各技術要素と IoT の機能をプロトタイプ構築によって実践的に学ぶ
- ・ プロトタイプ構築では、センサ、デバイスを部品から手作りを行って機器の実体を経験する
- ・ アイデア創出については、受講者企業の得意分野を勘案し、応用分野である、①生産系、②交通系、③省エネ系、④計測/制御/監視系をターゲットに、応用システムの構想設計とセンサ等のアイデア創出を行う

本教育方式を KEIS (関西電子情報産業協同組合) が主催する研修において、適用し実践した。受講者は、KEIS に属するサービス系や製造業を営む情報系企業のシステムエンジニア、営業マン、開発者であり、参加者は 14 名であった。また、農学系の水耕栽培を題材とした IoT プロトタイプ構築教育を実施した。講義は全 6 回で構成した。授業は土曜日に行い、時間は 9 時から 17 時までとした。

表 5.3 に本授業のカリキュラムを記す。全 6 回のうち、1 日目は講義中心、2 日目から 5 日目の 4 回は構築実習中心とし、最後の 1 日はアイデアの創出と発表を行う構成とした。構築は 4 回の授業で完成させることとした。2 日目は、構築の 1 回目として、IoT デバイ

表 5.3 研修カリキュラム

1 日目	2 日目	3 日目
講義 ・IoT 概要 ・通信方式 ・センサとアクチュエータ ・データ分析と AI ・情報セキュリティ	構築－1 IoT デバイス作成とネットワーク設定と確認	構築－2 ゲートウェイ (PC) との接続確認
4 日目	5 日目	6 日目
構築－3 クラウド環境の設定, ゲートウェイとの接続, センサからクラウドまでの接続	構築－4 クラウドからのフィードバック センサータグによる応用システム考案	アイディア創出 応用システム構想設計とセンサ/デバイス アイディア創出, 発表会

スの作成と IoT デバイスと IoT ゲートウェイ間のネットワーク設定と確認を行った。3 日目は、構築の 2 回目として、IoT デバイスとゲートウェイと間のネットワークを USB から無線に変更し、確認させた。4 日目は、構築の 3 回目として、クラウド環境の設定とセンサデータがクラウドまで届いていることを確認した。5 日目は、構築の最終回として、クラウドからセンサデータのフィードバックとして、センサの値が閾値を越えるとフルカラー LED が点灯することを確認させた。また TI Sensor Tag を使い、どのような応用が考えられるかを考えさせ、議論した。6 日目は、最終日として、IoT システムの応用を考え、発表・議論を行った。

(2) 実践

本研修では、受講者が携わっている内容を考慮し、構築する IoT プロトタイプとして、水耕栽培システムを採用した。図 5.5 に水耕栽培システムを記す。図にある様に、水耕栽培は、土を使用せずに、水と液体肥料（養液）で植物を育てる方法である。また、水耕栽培は、室内でも簡単に栽培が可能であり、場所の制約が少ないこと。そして管理が比較的容易であ



<http://www.shuwa-con.com/environment/>



<http://www.greenfarm.uing.u-tc.co.jp/>

図 5.5 水耕栽培

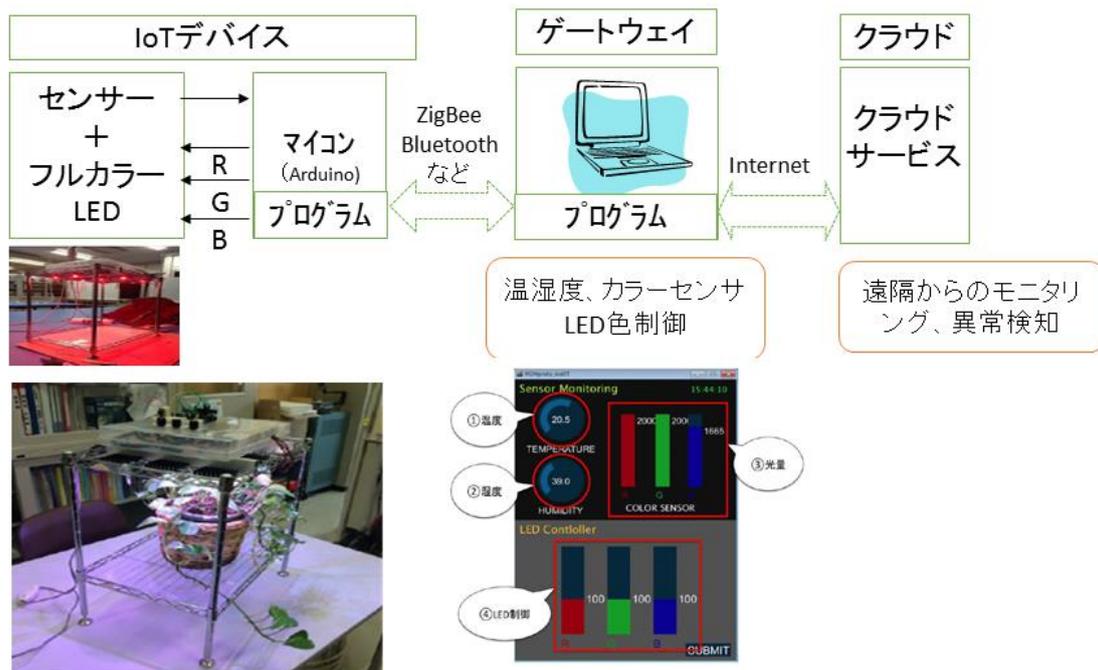


図 5.6 水耕栽培を想定した IoT プロトタイプシステム

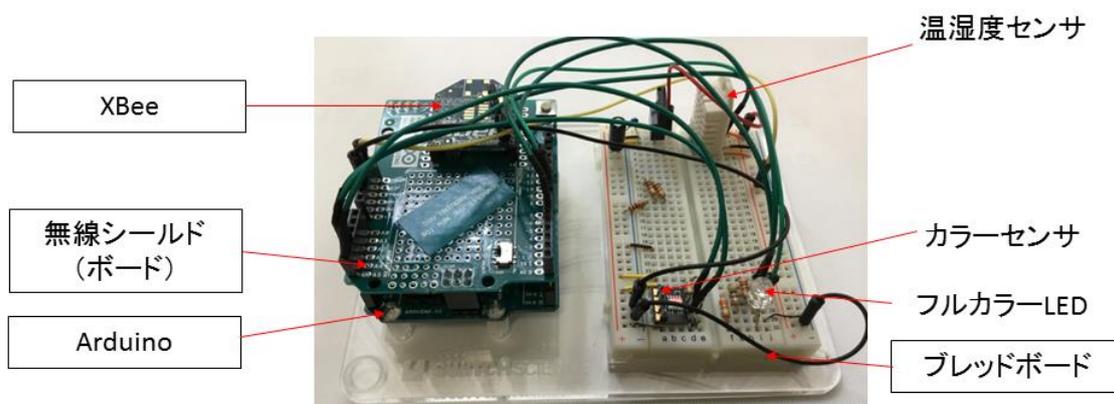


図 5.7 受講生が構築する IoT デバイス

り、自動制御しやすいため、また、受講者の業務に関連があったことから、本研修の IoT プロトタイプのテーマとして有用であると判断し、適用した。

図 5.6 に水耕栽培を想定して IoT プロトタイプシステムを示す。IoT デバイス上のセンサは、水耕栽培に必要な温湿度センサと、光の色を RGB で取得するカラーセンサを使用する。デバイス上のマイコンは、Arduino を使用する。アクチュエータは、フルカラーLEDを採用する。ゲートウェイは WindowsPC を使用し、クラウドは AT&T M2X を使用した。

受講生は、上記の様に構成された IoT プロトタイプシステム上を構築し、以下の動作確認を行う。

- IoT デバイス上の温湿度、カラーセンサが取得した RGB 値をゲートウェイに送信。ゲートウェイでは、その値をグラフ表示するとともに、クラウドにアップロードす

る。

- ・ ゲートウェイ上で、カラーRGB 値を指定し、IoT デバイスに送信する。IoT デバイス上のマイコン (Arduino) は、その RGB 値で、フルカラーLED を点灯させる。
- ・ クラウド上にアップロードされたデータを、自分の PC やスマホから確認する。
- ・ 温湿度センサーの温度の値が、閾値以上になったら、フルカラーLED を点灯することを確認する。

IoT デバイスは、電子部品から手作りする。図 5.7 に受講生が構築した IoT デバイスを記す。

(3) 応用システム構想設計とアイデア創出

応用システムの例として、以下の事例について、内容を説明することで、IoT がどの様に応用システムとして適用されているかの具体的な内容を理解させる。事例は MCPC (モバイルコンピューティング推進コンソーシアム) で、受賞したものをを用いた。

- A) 生産系：部品・製品検査業務，生産ライン故障予知，在庫管理
- B) 交通系：運行管理，駅業務
- C) 省エネ系：空調制御
- D) 計測/制御/監視系：対象は，機械・設備・場所・もの・人の見守り等

次に上記事例を参考にして、1つの応用システムを想定し、以下の様に構想設計を行う。

図 5.8 に 4 つの応用に対応したシステムの構想設計の構造を記す。図において、①の構想設計はデバイス・コントローラの範囲で、②はエリアネットワークの範囲で、③はクラウド上のアプリケーションの範囲で、そして④は IoT プロトタイプ全体で行う。以下に各構想設計の内容を記す。

- ① 必要なセンサ，デバイスに関するアイデアを出し，その概要を記述
- ② エリアネットワークの選択とその理由を記述
- ③ アプリ：ソフトウェアの概略仕様を記述
- ④ システムの概要仕様を記述

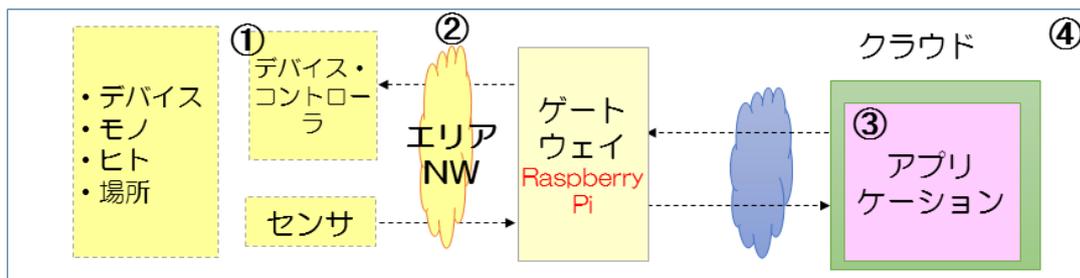


図 5.8 システム構想設計の構成

(4) 実践結果

図 5.9 に各回の受講者の理解度について示す。図において、第 1 回から第 5 回までの理

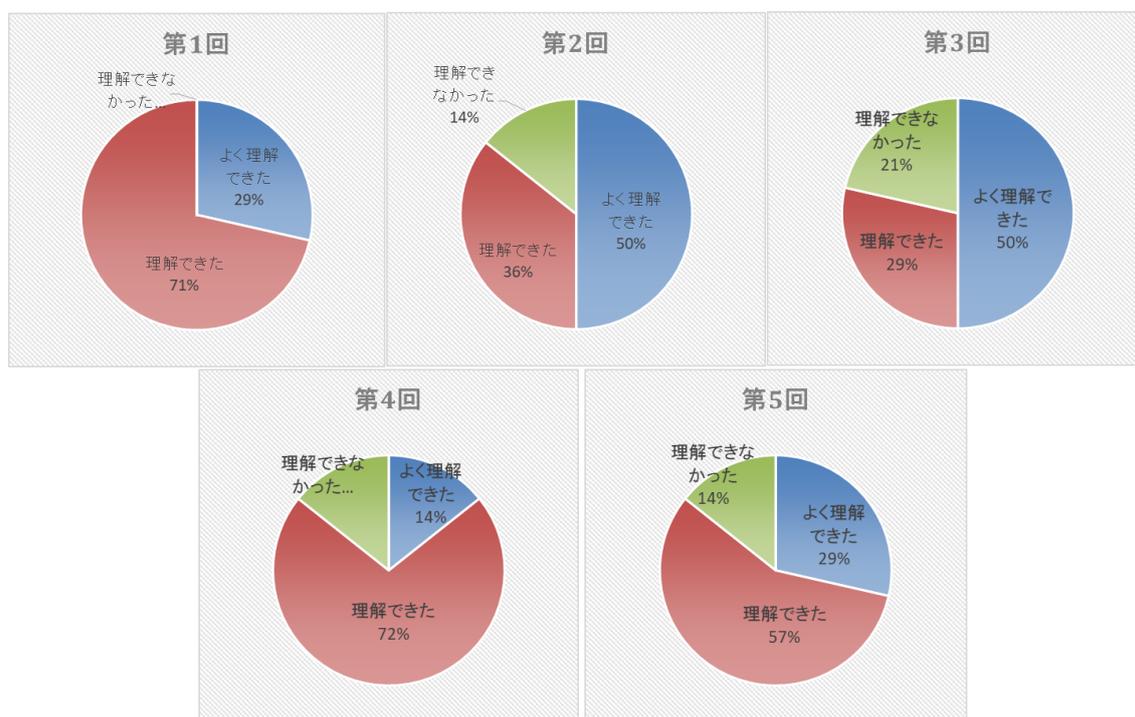


図 5.9 本実習の受講者の理解度

解度を，アンケートによる受講者の自己判断の結果示している。

(ア) 第 1 日目

第 1 回目は，講義を集中して実施した。授業内容を以下に記す。

- ・ ガイダンス，自己紹介，応用システム構想とアイデア創出の宿題説明
- ・ IoT 概要，システム構築技術
- ・ 通信方式
- ・ センサとアクチュエータ
- ・ データ分析と活用
- ・ IoT セキュリティ/保守・運用

理解度について，講義終了後のアンケートでは，14 人中 4 人が「よく理解できた」，10 名が「理解できた」と回答しており，「理解できなかった」との回答は無く，ほとんどの受講生が講義内容を理解できた。

(イ) 第 2 日目

第 2 日目は，構築 1 回目として，IoT デバイス作成とゲートウェイとの接続を行った。

理解度としては，7 名が「よく理解できた」，5 名が「理解できた」であり，2 名が「理解できなかった」であった。理解できなかった内容は，以下の 2 つである。

- ・ IoT デバイスとゲートウェイ間の無線通信がどのような通信方式で通信しているか.
- ・ 回路の意味 (なぜそこに抵抗を配置するか等).

今回の講義では, 上記の内容については仕組みについては教えず, 使い方に特化した結果であった.

また, IoT デバイスの作成とゲートウェイとの接続は, 全員が完遂でした.

(ウ) 第 3 日目

第 3 日目は, 構築 2 回目として, ゲートウェイプログラムの作成とクラウドサービスのアカウント設定を実施した. ゲートウェイプログラムは, 基本内容を教えた後, 変更課題を与え, 実施させた.

理解度としては, 7 名が「よく理解できた」, 4 名が「理解できた」であり, 3 名が「理解できなかった」であった. 理解できなかった内容は, ゲートウェイプログラムの変更であり, 3 名ともプログラム作成を業務で実施していない者であった.

(エ) 第 4 日目

第 4 回目は, 構築 3 回目として, クラウドサービスの設定と動作確認を行った.

理解度としては, 2 名が「よく理解できた」, 10 名が「理解できた」であり, 2 名が「理解できなかった」であった. 理解できなかった内容は, クラウドサービスに設定したプログラム言語であり, 第 3 日目と同様にプログラム作成を業務で実施していない者であった.

(オ) 第 5 日目

第 5 日目は, 構築最終回であり, クラウドからのフィードバックの設定と動作確認を行った. 理解度としては, 4 名が「よく理解できた」8 名が「理解できた」であり, 2 名が「理解できなかった」であった. 理解できなかった内容は, フィード

表 5.4 創出されたアイディア

①	オフィスワークの改善, ウェアラブルセンサの活用
②	トイレの汚れ検出→清掃係りへ通報
③	コインパーキングの空き状況チェック
④	製造装置の故障検知
⑤	エレベータ待ち時間の低減
⑥	猫のトイレの IoT 化
⑦	IoT と自動運転
⑧	みんなで高齢者見守りたい
⑨	ペットシッター
⑩	家の環境情報管理, 迷惑防止
⑪	地域情報収集システム
⑫	LPWA を利用した中古車位置管理

バック設定したプログラム言語であり、第3日目、4日目と同様にプログラム作成を業務で実施していない者であった。

第2回目から第5回目までで、IoTプロトタイプの構築を行った。受講生全員が、IoTプロトタイプの構築を完遂することができた。

(カ) 第6日目（最終日）

第6日目は、各受講生が、第1回目から応用システム設計を行ってきた内容を基に創出した応用アイデアについて発表した。また、本研修に対する感想についての発表も実施した。

表5.4に受講生が発表した創出アイデアを記す。

最優秀賞は、①と⑥の2件に決定し、各々表彰をした。

表 5.5 受講生の感想

<p>A) 実習を通じて感じたこと（今後の課題）</p> <ul style="list-style-type: none">① 指示通りに組立，配線であまく行ったが達成感が少ない → 自分で考え回路を組むことができるようになるようなことも必要か。② 自分でプログラムを作る時間がなかった③ アナログ電子回路の基礎知識がなく，わからないことがあった。（少し教える必要ありか）④ 収集データの解析方法や手法の代表的なものなどの説明，実習があるとよい。⑤ サンプルプログラム配布だけでなく，+αのプログラミング実習があったほうがよかった。⑥ 理解を助けるためディスカッションを行う時間がもう少しあってもよい。⑦ 電子データの配布（カラー），URLの電子的配布などをして欲しい。⑧ グループ作業をもっと増やしたほうがよいのではないか。⑨ 作業スペースが狭かった。
<p>B) 研修を通じてのIoTシステムの理解について</p> <ul style="list-style-type: none">① IoT全体を通して理解できた。② 実習があったのがよかった（理解が深まった）
<p>C) 全体を通じての感想</p> <ul style="list-style-type: none">① 研修を通して，IoT，AIを理解できたが，AIなどは，利用者はもっと凄いものと思っており，乖離がある。（ビジネスとしてユーザへ理解してもらうのが難しい）② 技術はわかるがビジネスへの直結は難しい③ 最適解がAIなどで得られると思うが，やはり最善の解は「人」が必要である。④ IoTデータはその活用方法（応用）が勝負であると思う。⑤ IoTは団体戦，すなわち，センサからクラウド，AIまでいろいろな技術をもった人が協調して作る必要がある。

表 5.5 に受講生の感想として発表した内容を示す。表において A) は、実習を通じて感じたことの中で今後の課題となるものをピックアップした。また、B) は、研修を通じての IoT システムの理解についての感想、および C) は全 6 回の本研修を完遂した際の感想について記す。

(5) 考察

本研修でのカリキュラムは、5.4 章で論じた農学系カリキュラムをベースに、全 6 回の授業に適用し、表 5.4 で記した内容として実施した。その結果、IoT プロトタイプ構築実習は、全ての受講生が研修時間内に完遂することができた。また、応用システム設計は、実習を通じて実施し、その結果をアイデア創出として全員が発表を行うことができた。よって本カリキュラムは、企業人に対しても適用可能な IoT 教育実現の可能性を見出すことができた

と考える。

本研修でのカリキュラムは、5.4 章で論じた農学系カリキュラムをベースに、全 6 回の授業に適用し、表 5.4 で記した内容として実施した。その結果、IoT プロトタイプ構築実習は、全ての受講生が研修時間内に完遂することができた。また、応用システム設計は、実習を通じて実施し、その結果をアイデア創出として全員が発表を行うことができた。

創出されたアイデアの内容については、仕事に関連したものや、生活環境に関連するものがほとんどであり、これは自己の身近な問題に対して、IoT を応用した解決策を考えることができたということである。このことは、受講者が IoT システムを机上の知識のみではなく、IoT システムのデータの動きを実感として理解できたためであり、この実感は、プロトタイプ構築とそれによる動作確認によって取得できたものと考えられる。

今後の課題として、まず受講者間の知識の差への対応が挙げられた。同じ課題でも簡単過ぎて達成感が無いという者もいれば、知識が無いため、分からないまま言われるままに構築することで、プロトタイプを完成することができたが、なぜ動いているのかが分からず、動かなくなった際に直せないという不安が残ったという者もいた。

全体を通じての感想として、IoT システムを理解することができ、さらに構築実習により、理解が深まったという者がほとんどであった。さらに理解したことによって新しい課題が見えてきており、その課題を解決することで、より現実的なシステムを考えられる様になったと考える。

よって本カリキュラムは、IoT 応用アイデアを創出できる技術者育成教育の実現の可能性を見出すことができたと考えられる。

5.5. 分野別カリキュラムの展開策

本節では、プロトタイプ構築をベースとした IoT 教育のカリキュラムの今後の展開策に

ついて論じる。

5.5.1. 各大学との意見交換の実施

筆者らは、IoT 教育に関して本論説内容の一部を情報系¹¹⁾、および文系¹²⁾に適用した結果を他大学に説明し、意見交換を行っている。

情報系に関しては、芝浦工業大学システム理工学部電子情報システム学科および同大学工学部情報工学科の研究室学生3年生、4年生、大学院生20人に対し、本論説のモジュール型を特別ゼミとして実施した。学生は構築手順書に基づいて構築した結果、身近なテーマではあったが、IoT 活用のアイデアを出した¹⁰⁾。東京電機大学理工学部情報システムデザイン学系4年生に対してモジュール学習としてセンサ技術主体の講義と構築教育を行った。これらの結果、情報系の組込みシステム系のカリキュラムの具体化を検討していくことになった。筆者らは、静岡大学情報学部情報科学科を訪問し、同学部の行動情報学科、情報文化学科も含めた共通科目「先端情報学演習」として、2年生を対象にIoT 一部機能の製作とディスカッションが進行中であることを聴取した。この科目では、理系、文系学生の合同授業やアイデア創出が行われている点が参考となった。筆者らは、今回の聴取から得た所見をカリキュラムづくりの有意義な素材として活かしていくこととした。

工学系については、筆者らは、芝浦工業大学システム理工学部機械制御システム学科を訪問し、意見交換を行った。同学科のロボット技術にはIoT の技術要素が多く含まれているが、IoT のネットワーク技術の教育に意義があるとの所見を得た。筆者らは、機械から得たセンサデータを無線で収集し、クラウドに伝達してデータを処理する体験は、機械系の学生に体験させることは有意義であるとの認識を持った。今後は他大学を含めて機械、電気との交流を行っていく。

農学系については、筆者らは、農業IoT シンポジウム¹³⁾を通じて、関連する大学や企業にアクセスし、IoT の教育について意見交換を行った。学部生や院生にとってIoT プロトタイプ構築によって農業機械分野へ適用を学習させることは有意義との所見を得た。農業分野は、IoT の適用が多い分野と考えられる。今後は農作物栽培分野へのアクセスを行っていく。

文系分野については、筆者らはすでに、こども教育宝仙大学幼児教育学科に協力してIoT システムの教育を行った¹²⁾。この経験を活かして、他大学の教育学科や生活科学科等の文系分野とコンタクトして行くことにしている。

サイバー大学では、従来からe-LearningによるIT機器実習が提唱され¹⁴⁾、2017年度にはIoT 入門の科目が開講されている。サイバー大学の社会人学生には、技術基盤が情報系の専門に依存する割合が少なく、理系、文系に跨っているケースがある。サイバー大学の本科目の実施経験が本論説の提言の展開に活かしていく予定である。

5.5.2. 分野別 IoT 教育の展開策

IoT の今後の各応用範囲の拡がりを考えれば、IoT の教育は情報系に限らず、工学系、農学系、文系で取り入れられることが有意義と考える。IoT 教育法の検討については、教育の効果、内容の検討が重要であるが、実現にあたっては、担当教員の確保が課題になる。工学系、農学系、文系においては、既存の情報関連の科目に折り込んでいくか、または新たな科目新設の検討が必要になる。共通科目として情報系の教員が担当することも考えられる。その場合でも、プロトタイプ構築に関しては、教員による試行または習得が必要になる。

IoT の基盤となるシステム技術に造詣の深い情報系とデバイス技術や応用面の造詣が深い工学系、農学系の協力体制により効果的なカリキュラムが可能になると考える。

文系におけるカリキュラムについては、IoT の活用について社会的な視点、教育的な視点に強い文系と IoT のシステムに強い情報系の連携により、学生の発想を醸成する教育カリキュラムができることが期待できる。

IoT の教育カリキュラムに関心のある教師間でワークショップを開催し、例えば、IoT 教育のモデルを作成して、模擬講義によって教育法のディスカッションを行うことも有意義と考える。

学生を対象としたセミナーやシンポジウムの開催も有意義と考える。IoT の基盤となる通信、ソフトウェア、クラウドのシステム技術に強い情報系の学生とデバイスや応用面に強い工学、農学の学生とのコラボレーションによって、産業面での新しいアイデアが創出される可能性がある。人間の生活や社会面に関心の深い文系の学生と情報系の学生によるコラボレーションによってイノベーションなアイデアが創出されることも想定される。カリキュラムの実現については、教育に携わる側の検討、および IoT 関連のイベントへの学生の参加など、一步一步進めて行くことが必要と考える。

5.6. 5 章のまとめ

本研究の目的は、1 章で述べた通り、IoT システムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存な IoT システム教育法を確立することである。本目的を達成するために、これまで実践を行ってきた文系や情報系学科に加え、農学系、工学系（工学、電気、機械）を含めた全ての分野の学生が構築できるプロトタイプ構築を基にした IoT 教育法を開発し、各分野へ展開していくことが、本章の目標である。

本章では、IoT システムの技術を「デバイス技術」、「システム技術」に分け、各技術について教育する詳細度を、「接続方法」、「機能」、「構造」に分類し、それを組み合わせることで、各分野へ対応可能な IoT 教育法を開発した。そしての教育法を使用し、情報系、工学系、農学系、文系の各分野における教育法の展開について論じた。

さらに、本 IoT 教育法を企業技術者への研修に適用し、実施することで、企業技術者への教育にもしうできることを確認した。IoT は各分野にまたがる技術と応用の特質を持つ

が、一方、各分野自身の価値を高める要素を内在している。各分野へ展開する本教育法の検討と実現については、課題があるが、多くの識者の協調によって研究を進めて行く。

本研究で開発した成果物を以下に記す。

- ・ 情報系・非情報系に非依存の IoT 教育法
→各分野に対応してカスタマイズできる教育法の開発

6. 結言

本研究の目的は、IoTシステムが社会システムの基盤となり、様々な分野への応用を創出することができる人材を教育するために、情報系・非情報系に非依存なIoTシステム教育法を確立することである。そのために、以下の3つのテーマについて研究を行なった。

- 1) 文系学生へのIoTプロトタイプ実装教育カリキュラムの提案と実践
- 2) 支援エージェントを用いたIoTプロトタイプの自己構築によるIoTシステム教育法の提案と実践
- 3) プロトタイプ構築を基にした情報系・非情報系な非依存のIoT教育への展開

各研究の概要を以下に述べる。

1)の研究では、従来、情報系教育分野と考えられたIoTシステムについて、文系学生へのIoTプロトタイプシステム実装教育法の提案と実践を行った。本教育法の目的は、IoTシステムをプロトタイプ構築により体験的に理解させることと、それを通じて自己の身近な分野に通じるアイデアを創出することであった。実践の結果、IoTプロトタイプシステム構築を段階的に行い、システムが動作することの確認ができたこと、およびその体験を通じて、自己の身近な分野への通じるアイデアを創出させることができた。つまり、本教育法が、文系の学生にも効果があることを確認した。

また、プロトタイプ構築の各段階における創出アイデアの変化に観点を置くと、構築段階が進むにつれて、センサやアクチュエータが具体化し、より現実的なシステムのアイデアを創出しており、段階的構築によるIoTシステムの理解に効果があることを確認した。

2)の研究では、学生にIoTプロトタイプ構築を課題とし、支援を行うエージェントを具備したWeb学習システムを提供して、実習させた。実習後の授業では、実習結果の発表と議論を行うことで、学生に新しい気付きを与えることができた。その結果、ほとんどの学生が、IoTプロトタイプシステムの構築を完遂し、本実習・発表・議論を通じて、IoTシステムの応用アイデアを考え、今後のIoTシステムに対する各学生の自己の課題や取り組みについて学生が積極的に議論することができ、教師の負荷を軽減したものづくり教育の実現の可能性を見出すことができたと考えられる。

3)の研究では、IoTシステムの技術を「デバイス技術」、「システム技術」に分け、各技術について教育する詳細度を、「接続方法」、「機能」、「構造」に分類し、それを組み合わせることで、各分野へ対応可能なIoT教育法を開発した。そしてその教育法を使用し、情報系、工学系、農学系、文系の各分野における教育法の展開について論じた。

さらに、本 IoT 教育法を企業技術者への研修に適用し、実施することで、企業技術者への教育にも使用できることを確認した。IoT は各分野にまたがる技術と応用の特質を持つが、一方、各分野自身の価値を高める要素を内在している。各分野へ展開する本教育法の検討と実現については、課題があるが、多くの識者の協調によって研究を進めて行く。

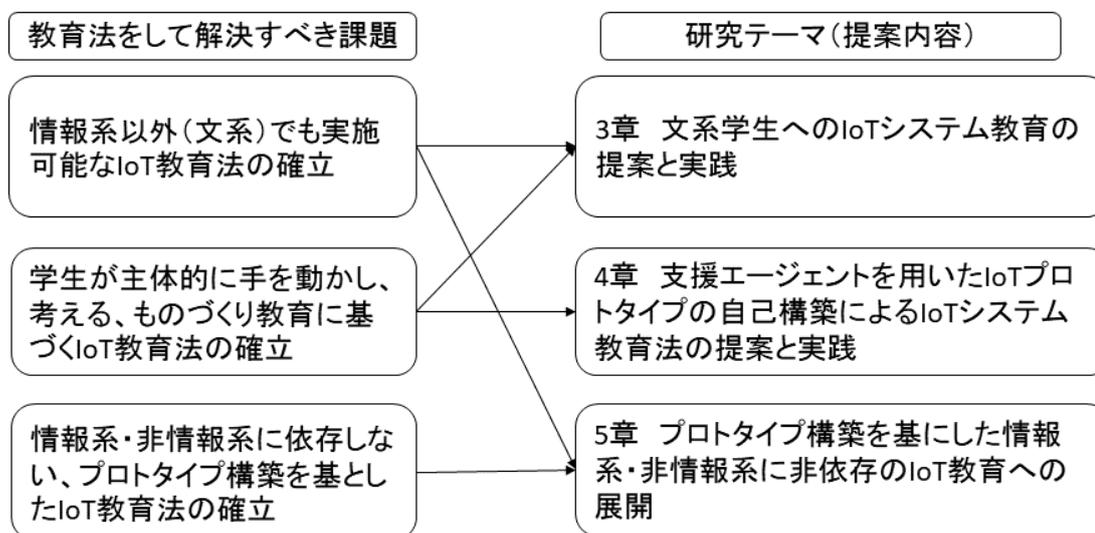


図 6.1 研究課題とテーマの関係

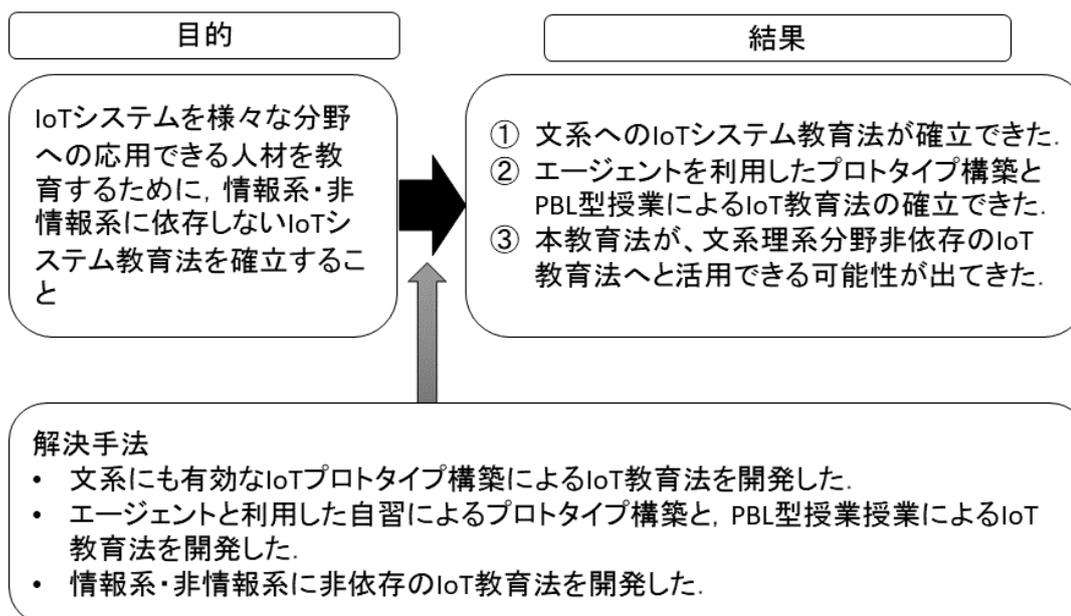


図 6.2 研究の目的と結果、解決手法

図 6.1 に IoT 教育法として解決すべき課題と、本研究のテーマとの関係を示す。また、図 6.2 に研究の目的と結果および解決方法を記す。

以下に本研究の成果物について記載する.

- ・ IoT 教育法の成果物
 - ・ IoT プロトタイプ段階的構築法
 - ・ 段階的構築法を基とした授業内容表
 - ・ 段階的構築法を基とした構築手順書
 - ・ 構築結果による理解度判定法
 - ・ 構築による IoT システムの実感を踏まえての応用アイデア創出法
 - ・ アイデア内容による理解度判定法
 - ・ 自習による IoT プロトタイプ構築対応システム実装 (Moodle)
 - ・ 構築支援を行うエージェント機能実装
 - ・ 自習による IoT プロトタイプ構築と, PBL 型授業を組み合わせた IoT 教育法
 - ・ 情報系・非情報系に非依存の IoT 教育法

次に今後の研究課題について述べる.

IoT システムは今後ますます進展し, 社会システムの基盤となり, その応用分野も増加していくと考えられる.

本研究では, 文系として幼児教育系の学生, および情報系の学生に対し, IoT 教育法を提案し, 実践したが, IoT の応用分野としては, ほんの一部に過ぎない. よって, 今後は農学系, 電気, 機械等の工学系, 流通や生活科学系を含めた様々な分野にも積極的に展開していきたい.

昨今のシステムとして AI (artificial intelligence) の需要が急激に高まってきている. IoT システムは, その構成上, AI との親和性が高いため, AI を含んだ IoT 応用が今後ますます増加すると考える. よって AI 機能を具備した IoT 教育法が重要となってくる. その場合, AI を具備した IoT プロトタイプの開発が重要となる.

また, システム設計において, デザイン思考技術が注目されており, 今後のシステム設計技術の主要技術となる可能性がある. そこで, 応用分野の IoT アイデアを考える際, このデザイン思考技術を導入した教育法の開発が重要となる.

今後, IoT システム+AI, および IoT システムアイデア創出+デザイン思考における IoT システム教育法を研究, 開発していくことで, 各応用分野における, より現実的な応用アイデアを創出できる人材の育成が可能になると考え, 鋭意研究を進めていきたい.

謝辞

本研究を学位論文として提出にあたりまして、ご多忙の中で多くの時間を割いて、主査としてご指導頂きました東京電機大学大学院 先端科学技術研究科 神戸英利教授、山口正二教授、小林春美教授、中山洋教授に、厚く御礼を申し上げます。

東京電機大学 小泉寿男名誉教授には、研究方針策定、学会発表、論文投稿、査読回答など、長きにわたる研究活動の様々な場面におきまして、ご指導、ご助言、激励を頂きました。芝浦工業大学システム理工学部 井上雅裕教授には、M2M/IoT 関連研究活動において、様々な知見を頂きました。また、国際ジャーナルへの投稿や、国際会議において、ご支援頂きました。NPO 法人 M2M・IoT 研究会 市村洋様、芝浦工業大学 中島毅教授、福井工業大学 北上真二教授には、研究の進め方に関して多くの適切なアドバイスを頂きました。サイバー大学 清尾克彦教授、東海大学 大江信宏教授、こども教育宝仙大学 石原正仁准教授には、研究の実践、考察に多大なご協力を頂きました。皆さまに心から感謝申し上げます。

所属元のアイテック阪急阪神株式会社社内では、浜田真希男代表取締役社長、保志健一顧問には、学位取得に関してご理解を頂きました。厚く御礼を申し上げます。

末筆ながら、論文作成を陰ながら応援してくれた妻 朋子、娘 瑞稀、娘 陽香、娘 愛実に感謝致します。

参考文献

1章分（著者関連発表論文）

学術論文

- (1) 秋山康智, 石原正仁, 大江信宏, 北上眞二, 神戸英利, 市村洋, 清尾克彦, 小泉寿男, “文系学生への M2M プロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と評価”, 日本工学教育協会, 工学教育, Vol. 64, no. 1, pp. 26-32 (2016)
- (2) Koji Akiyama, Masahito Ishihara, Nobuhiro Ohe, Masahiro Inoue, Hidetoshi Kambe, “Idea Creation using Stepwise Construction of IoT Prototype System and its Verification Evaluation”, Scientific & Academic Publishing, International Journal of Internet of Things, 2017; 6(3): pp.91-97 (2017)
- (3) Koji Akiyama, “Problem-based Learning Style IoT System Education Method by Student's Self-construction of Prototype System”, Scientific & Academic Publishing, International Journal of Internet of Things 2018, 7(2): 30-36

国際会議

- (1) Koji Akiyama, Masahito Ishihara, Nobuhiro Ohe, Masahiro Inoue, Hidetoshi Kambe, “An Education Curriculums of IoT Prototype Construction System“, The Sixth IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.881-885 (2017)

参考文献

- 1) 稲田修一監修, “M2M/IoT 教科書”, インプレス, 2015
- 2) David Boswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和, “M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系”, リックテレコム, 2013
- 3) Olivier Hersent, David Boswarthick, “The Internet of Things: Key Applications and Protocols”, Wiley, ISBN:978-1119994350, 2012
- 4) 辻秀一, 澤本潤, 清尾 克彦, “M2M(Machine-to -Machine)Machine)技術の動向”, 電気学会論文誌C (電子・情報システム部門誌) 133(3), 520-531(2013)
- 5) 猿渡俊介, 森川博之, “モバイル時代のサービスを支える技術: 3. M2M の情報流”, 学会誌「情報処理」, Vol. 55, No. 11, pp1269-1274, 2014

2章分

- 1) 稲田修一監修, “M2M/IoT 教科書”, インプレス, 2015
- 2) David Boswarthick, OmarElloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和, “M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系”, リックテレコム, 2013
- 3) Olivier Hersent, David Boswarthick, “The Internet of Things:Key Applications and Protocols”, Wiley, ISBN:978-1119994350, 2012
- 4) 辻秀一, 澤本潤, 清尾 克彦, “M2M(Machine-to -Machine)Machine)技術の動向”, 電気学会論文誌C (電子・情報システム部門誌) 133(3), 520-531(2013)
- 5) 猿渡俊介, 森川博之, “モバイル時代のサービスを支える技術:3.M2Mの情報流”, 学会誌「情報処理」, Vol.55, No.11, pp1269-1274, 2014
- 6) ETSI (European Telecommunications Standards Institute) <https://www.etsi.org/> (2018年11月参照)
- 7) 電気学会第2次M2M技術調査専門委員会編, “M2M/IoTシステム入門”, 森北出版株式会社, 2016
- 8) エネルギー管理システム BEMS, <http://www.kandt.co.jp/solution/bems.html>, 2018年11月参照
- 9) AI Physical Security Service, <https://robotstart.info/2018/06/27/optim-cloud-iot-jr.html>, 2018年11月参照
- 10) enPiT (高度 IT 人材を育成する産学協働の実践教育ネットワーク), <http://www.enpit.jp/>, 2018年11月参照

3章分

- 1) 稲田修一監修, M2M/IoT 教科書, インプレス, 2015
- 2) David Boswarthick, OmarElloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和, M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系, リックテレコム, 2013
- 3) 清尾克彦, M2M(Mathine to Mathine) 技術の動向と応用事例, サイバー大学紀要 第5号, pp1-22, 2013
- 4) 猿渡俊介, 森川博之, モバイル時代のサービスを支える技術: 3. M2M の情報流, 学会誌「情報処理」, Vol. 55, No. 11, pp1269-1274, 2014
- 5) 大山啓, 高木均, 日下一也, 堀川啓太郎, Lego Mindstorms を利用した創造的ものづくり教育とその効果, 工学教育, 52-4, pp20-24, 2004
- 6) 千田進幸, 山本浩治, 福森勉, 松浦英雄, 佐藤一雄, 学生の創造性を発揮させるモノづくり実習コースの開発, 工学教育, 53-5, pp49-53, 2005
- 7) Arduino, Official site, <http://www.arduino.cc>
- 8) Raspberry Pi, Official site, <http://www.raspberrypi.org>
- 9) ZigBee, Official site, <http://www.zbsigj.org/>
- 10) Xively, Official site, <http://xively.com/>
- 11) Parse, Official site, <https://www.parse.com/>
- 12) こども教育宝仙大学, <http://hosen.ac.jp/>

4章分

- 1) 稲田修一監修, “M2M/IoT教科書”, インプレス, 2015
- 2) David Boswarthick, OmarElloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和, :” M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系”, リックテレコム, 2013
- 3) Olivier Hersent, David Boswarthick, :” The Internet of Things:Key Applications and Protocols” , Wiley, ISBN:978-1119994350, 2012
- 4) 辻秀一, 澤本潤, 清尾 克彦, :” M2M(Machine-to -Machine)Machine)技術の動向”, 電気学会論文誌C (電子・情報システム部門誌) 133(3), 520-531(2013)
- 5) 猿渡俊介, 森川博之, :” モバイル時代のサービスを支える技術:3.M2Mの情報流” , 学会誌「情報処理」, Vol. 55, No. 11, pp1269-1274, 2014
- 6) 高岡亮, :” ICT を活用した授業・学習実践の現状と方向性”, 教育システム情報学会誌, Vol. 33, No.1, 2016
- 7) Shahla Gul, Muhammad Asif, Shahbaz Ahmad, :” A Survey on Role of Internet of Things in Education” , IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.17 No.5, May 2017
- 8) D. Namiot, M. S. S. Ventpils and Y. I. Daradkeh, :”On internet of things education, ” 2017 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), St. Petersburg, 2017, pp. 309-315.
- 9) Hanan Aldowah, Shafiq Ul Rehman, Samar Ghazal, :” Internet of Things in Higher Education: A Study on Future Learning” , ICCSCM 2017 : IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 892 (2017) 012017
- 10) enPIT:<http://www.enpit.jp>, (参照:2018/8/6)
- 11) 秋山康智 石原正博 大江信宏, :” 文系学生への IoT プロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と評価”, 工学教育 64-1, 2016
- 12) 大江信宏, 北上眞一, 米盛弘信 :” M2M 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 (基礎・材料・共通部門誌), Vol. 135, No. 11pp. 655-665 (2015)
- 13) 井上雅裕, 長谷川浩志, 間野 一則, ” グローバル環境でイノベーションを創出するための人材育成プログラムの開発”, 工学教育, Vol. 64, No. 5, 2016
- 14) 別府俊幸, 原元司, 箕田充志 :” エンジニアリング・デザイン能力を高めるための PBL”, 工学教育, Vol. 65, No. 1, pp. 32-39, 2017.
- 15) Moodle, Official site, <https://moodle.org/> (参照:2018. 8. 1)
- 16) ZigBee, Official site, <https://www.zigbee.org/> (参照:2018. 8. 1)

5章分

- 1) 辻 秀一, 澤本 潤, 清尾克彦, 北上眞二: M2M(Machine-to-Machine)技術の動向 (特集 電子・情報・システム分野の最先端技術), 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) 133(3), 520-531(2013)
- 2) 白鳥則郎, 北上眞二, 菅沼拓夫, 菅原研次, 嶋本薫: IoT アーキテクチャの最新動向, 電子情報通信学会誌, Vol. 100, No. 3, pp. 214-221(2017)
- 3) 猿渡俊介, 森川博之: モバイル時代のサービスを支える技術: 3. M2Mの情報流, 学会誌「情報処理」, Vol. 55, No. 11, 1269-1274 (2014)
- 4) 山田太郎: 日本版インダストリー4.0の教科書 IoT時代のモノづくり戦略, 日経BP社, ISBN: 978-4-8222-3987-9, 2016年4月
- 5) David Boswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和/小林 中 訳: M2M基本技術書 ETSI 標準の理論と体系, リックテレコム, ISBN: 978-4-89797-909-0, 2013年12月
- 6) Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi: “The Internet of Things: Key Applications and Protocols, 2nd Edition”, Wiley, ISBN: 978-1-119-99435-0, (2012)
- 7) 稲田修一 監修, 富田二三彦, 山崎徳和, MCPC M2M/IoT 委員会編: M2M/IoT 教科書, インプレス, ISBN: 978-4-8443-3785-0, 2015年5月
- 8) 電気学会 第2次 M2M 技術調査専門委員会(編): M2M/IoT システム入門. 森北出版, ISBN: 978-4-627-85331-7, 2016年3月
- 9) enPIT: <http://www.enpit.jp>, (参照: 2017/8/18)
- 10) 大江信宏, 北上眞二, 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 (基礎・材料・共通部門誌), 2015年11月号 Vol. 135, No. 11 pp. 655-665 (2015)
- 11) 秋山康智, 石原正仁, 大江信宏, 北上眞二, 神戸英利 市村 洋, 清尾克彦, 小泉寿男: 文系学生への IoT プロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と評価, 日工教工学教育 64-1, pp. 26-32 (2016)
- 12) 市村 洋, 大江 信宏, 井上 雅裕, 小泉 寿男: “M2M 普及のための教育活動の実践と課題”, 2014年情報処理学会第76回全国大会, 6G-4, pp. 4・487-488(2014.03).
- 13) NPO 法人 M2M・IoT 研究会 農業 IoT シンポジウム (2018), <https://www.m2msg.org/?p=4723>
- 14) 清尾克彦: 「オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向と取組み事例」, サイバー大学 eラーニング研究第4号, pp. 1-25 (2015)