

情報教育におけるロボット教材を活用した IoT システム構築実習の授業実践報告

角樋大地^{†1} 岸本有生^{†1} 覺前友哉^{†2} 小川勝史^{†2}

概要：近年注目を集める IoT, ビッグデータ, AI, ロボットなどの技術は産業構造に大きな変革をもたらす第四次産業革命技術と呼ばれている。日本でも超スマート社会「Society5.0」の実現を目指して、これらの技術の社会実装が進んでいるが、それらを担う理工系人材の需要と供給にギャップが生じている。この需給ギャップを埋めるためには、高校生が情報技術を基盤とした科学技術に興味を持って学習し、理工系人材へと成長するような新しい教育手法が必要である。先行研究により「IoT 学習環境」と「ロボット教材」は高校生の情報・科学技術への意欲・関心を高める上で効果的であると多くの報告がある。IoT 技術とロボット技術を融合した教材システムを開発、教育実践することにより、生徒の意欲・関心を高めることができるのではないかと考える。本稿では、ICT・IoT 教育においてロボット教材を活用した IoT システム構築実習の効果的な学習指導計画を提案し、その授業実践について報告する。

Report of class on IoT system construction practice using robot educational tool in information education

Daichi SUMIHI^{†1} Tomonari KISHIMOTO^{†1} Yuya KAKUMAE^{†2}
Katsushi OGAWA^{†2}

Abstract: Technologies such as IoT, big data, AI, robots that attract attention in recent years are called fourth industrial revolution technology that will revolutionize the industrial structure. In Japan, social implementation of these technologies is progressing with the aim of realizing the super smart society "Society 5.0", but there is a gap between the supply and demand of science and technology personnel who are responsible for them. In order to fill the gap between supply and demand, it is first necessary for new high school students to learn with interest in science and technology based on information technology, and to develop new educational methods to grow into science and technology personnel. According to previous researches, there are many reports that "IoT learning environment" and "robot teaching materials" are effective in raising high school students' interest and interest in information and technology. By developing and teaching materials system that integrates IoT technology and robot technology, I think that it is possible to raise the motivation and interest of the students. In this paper, we propose an effective learning instruction plan incorporating IoT training using robot teaching materials in ICT and IoT education, and report on the class practice.

1. はじめに

1.1 背景

近年、インターネットに接続されたモノとモノが運動して様々なサービスを生み出す IoT(Internet of Things)[1]やビッグデータ, AI, ロボットが注目を集めている。これらの技術は、産業構造に大きな変革をもたらす第四次産業革命技術と呼ばれ、産業構造がよりコネクティブになる Connected Industries, 超スマート社会 Society5.0 の実現を目指して社会実装が進んでいる。しかしながら、このような社会の実現に向けて理工系人材の需給にギャップが生じている。ICT, データサイエンスに関する人材の育成, 教育施策等の具体化が重要な課題としてあげられており、技術(Technology)を活用して教育(Education)に変革をもたらす「エドテック (EdTech)」等の先進的な教育システムに関する議論も活発になっている[2][3]。

そのような動向に伴い、小学校プログラミング必修化や大学における工学教育改革等が議論されている[4]。高等学校では 2022 年に施行される新しい学習指導要領において、子供たちが未来の創り手となるために求められる資質・能力として、「情報活用能力」が「言語能力」などと同様に教科の枠を超えて、すべての学習の基盤として生まれ活用される力として位置付けられる。特に情報教育の充実のために、必修の「情報 I」が新設され、プログラミング、ネットワーク(情報セキュリティを含む)やデータベース(データ活用)の基礎等の内容が必修となり、データサイエンス等に関する内容が充実する[5]。また、各教科におけるコンピュータ等を活用した学習活動についても充実する。この新設される「情報 I」についての具体的な教育内容は、今後の人材育成についての課題を鑑みて次の 4 つの項目で構成される。

^{†1} 大阪電気通信大学高等学校

^{†2} 大阪電気通信大学

- (1) 情報社会の問題解決
- (2) コミュニケーションと情報デザイン
- (3) コンピュータとプログラミング
- (4) 情報通信ネットワークとデータ活用

現行学習指導要領では、「社会と情報」および「情報の科学」から1科目選択して履修するという構成である。「情報の科学」の内容にプログラミング等が含まれるが、この科目を履修する生徒は2016年度の教科書需要数から推定すると全体の2割程度である[6]。つまり全体の8割程度が初めてプログラミング、情報通信ネットワークを用いたデータ活用について学習することとなる。高等学校の教育現場ではこれらの学習内容について、学習効果が高く、指導しやすい教育手法が求められている。

1.2 関連研究

関連研究として、高等学校において、センサ、Raspberry Pi、日本語記述のプログラミング言語であるドリトル言語[7]、データ蓄積サーバの連携によって構築された「IoT学習環境」を用いた「データ」の観点から理解を促すネットワーク教育、データの分析教育、課題解決学習、プログラミング教育が提案された[8]。これらの報告では評価結果として、ゲーム制作等を通してプログラミング能力の向上は観察できたが、データの流れやネットワークの仕組みを理解し、それらを使って取り組む創造的な活動では、別途学習プログラムの必要性を示唆している。

大学での授業実践報告ではロボットとIoTを活用できる人材の育成のために、関連技術である、組み込みシステム、センシング技術、クラウドシステム、ネットワーク技術、およびデータ分析とそのフィードバックを行うロボット技術を学習可能な教材を作成しProject Based Learning(PBL)を実施し、その高い学習効果が報告されている[9]。工業高等専門学校では、ソフトウェアとハードウェアの学習を両立させ、ものづくりを主眼とした創造性の向上を目指した授業実践報告がある。T.Igoeらを中心とした研究報告ではニューヨーク大学で開始された教育プログラムにおいて研究指針であるフィジカルコンピューティング[10]について教材開発を行い、IoT教育が効率的・効果的に実践可能であることに言及した[11]。

また、我々は、ロボット技術を活用した物理学習支援教材が高校生の意欲・関心を高めて、また効率的で効果的な物理学習が可能であることを報告している[12]。特に物理現象における概念的な理解度は、従来の座学に比べて高い学習効果が得られた[13]。これは、理論と現象が体感的に学習できて、実感と共に理解できるので定着度合いが高まると考えられる。

1.3 仮説

IoT学習環境に加えて、ロボット技術やフィジカルコンピューティングの考え方を高校生向けにアレンジした教材を利用することによって、ネットワークやデータの流れを含めた“コンピュータを活用したシステム”を実感しながら理解を深めることができると考えた。さらにこの教材は情報教育に加えて工学系の体験的な学習を行うことができ、工学教育として理工系分野を志すきっかけ作りにつながり、理工系人材の育成についてもより効果的な結果が期待できるのではないかと考える。本稿では、高校生がプログラミング、ネットワーク、データベースの基礎やデータサイエンス等の情報教育について、IoT技術、ロボット技術を用いた効率的で効果的な学習教材システムを開発し、ソフトウェア・ハードウェアに渡って学習可能な、生徒が主体的に取り組むことができるIoTシステム構築実習授業の学習指導計画を提案し、授業実践を行った際の学習効果や学習者の反応を検証し、その結果について報告する。

2. IoTシステム構築実習の授業実践

2.1 IoTシステム構築実習

IoTシステム構築実習は、IoTシステム構築を通してプログラミング、ネットワーク、データベースの基礎やデータサイエンス等をソフトウェア・ハードウェアにわたって学習可能な実習授業である。超スマート社会「Society5.0」を支える理工系人材は、ICTエンジニアはシステムエンジニア、ネットワークエンジニア、Webエンジニア、組み込みエンジニアなど多様であり、それぞれに必要な技能や技術、適性が存在する。IoTシステム構築実習において学習者がそれらの技術に触れ、学びを通して興味を持つとともに、自分の適性を考える機会になることを目的として学習指導計画を設計した。

2.2 学習目標

本稿において報告する授業は、新学習指導要領における情報教育で求められている内容を考慮し、次の3点を達成できるように授業を展開した。

- (1) 問題を解決するために情報システムを構築する。
- (2) 他人とコミュニケーションをとるために情報コンテンツをデザインする。
- (3) 情報通信ネットワークを用いて収集したデータを活用する。

これらの目標を達成するために、学習者が主体的に授業に参画できるようICT及びロボット、IoT技術に関する実習・授業の展開を設計して実践した。

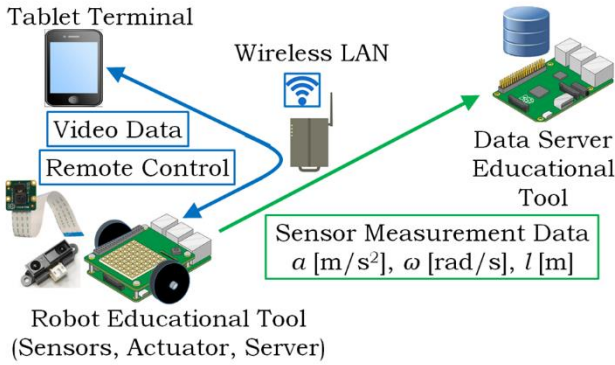


図 1. 学習教材システム



図 2. Sense HAT 外観

2.3 対象

本稿の授業実践報告は、私立高校電子工業科における科目「電子実習」の授業で 2018 年度の 2 学期（9 月）から 3 学期末（2 月）までの正規授業として実施したものである。また、ロボット教材を用いた授業は 3 月に特別授業として実施した。この科目は 4 単位授業となっており、通常 2 時間続きの授業を 1 週間に 2 回実施している。また予め、研究の一環として授業実践を行っていることを本人及び保護者へ周知し、アンケートや確認テストの参加は自由であることを告知している。

2.4 学習教材システム

本授業実践で使用した、学習教材システムについて概略を示す。本教材システムは、IoT デバイス、ICT 端末とデータサーバ等をネットワークで接続してデータ通信を可能にしたものである（図 1）。このシステムは、データサーバ教材とロボット教材が、用意した無線 LAN ルータを介して通信することで、ロボット教材に搭載されたセンサーで計測されたデータが、データサーバに随時アップロードされて蓄積されるものである。それぞれの教材には固定 IP を設定している。また、ロボット教材はタブレット端末から Web によってアクセスし、ロボット教材に搭載されたカメラの映像をリアルタイムに見ながら遠隔操作可能とする。データサーバ教材、ロボット教材ともに、Wi-Fi でデータ送受信が可能な Raspberry Pi 3B を使用する。この Raspberry Pi

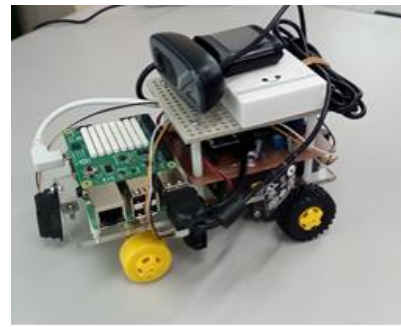


図 3. ロボット教材外観

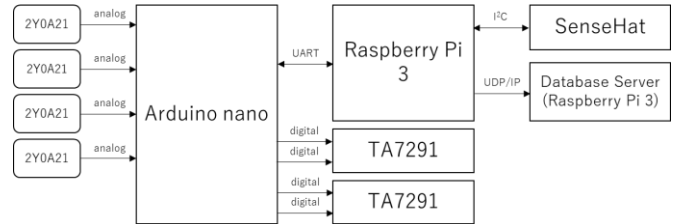


図 4. 教材のシステム概念図

3B に LAMP(Linux, Apache, MySQL, PHP)環境を構築する。また、LED 表示器やセンサーが搭載されている Raspberry Pi 用センサボードである Sense HAT（図 2）を使用する。Sense HAT は、Raspberry Pi 専用のアドオンボードで RGB LED 8 × 8 マトリックス、ジョイスティックの他、加速度、ジャイロ、磁力、気圧、温度、湿度のセンサーが組み込まれている。ロボット教材の外観と概念図をそれぞれ図 3、図 4 に示す。ロボット教材は移動制御の簡便さを考えて車型ロボットとして設計されており、距離センサを前後左右に搭載し Sense HAT 上のセンサーと合わせて、距離 l [m]、加速度 a [m/s²]、角速度 ω [rad/s]の計測を行う。

2.5 授業展開（学習指導計画）

実施した授業について、学習指導計画の概略を表 1 に示す。授業は、課題解決のために LAMP 環境を構築し、ロボット及び IoT システムを実現していく展開である。先行研究において IoT 学習で、複数言語によるプログラミング教育の提案[14]があり、学習内容が多い反面、順を追ってシステム構築をする際にそれぞれの言語の働きが具体的でイメージし易く、IoT システムの理解につながると思われ、本稿でも複数言語による実習の形を採用している。授業の各項目の内容の詳細について示す。この学習指導計画のポイントは Web コンテンツやゲームの作成、システムの構築において取り組む制作課題に学習者の身近な事例を使うことで、プログラム等の意味やシステムの学習が体感的でイメージしやすくしたことである。これらにより、サイバー空間での学習内容が、センサ、LED マトリックス、ジョイスティックやロボットといった現実空間での現象とつながることで、知識が実感を伴った理解につながる展開となっている。

表 1. 2018 年度 IoT システム構築実習授業の展開

時期	課題	実習内容	学習内容
9 月	・環境構築 ・静的な Web ページの制作	・コンフィグファイルの設定 ・Web サーバの設定と Web コンテンツ作成①	・Linux コマンド ・HTML タグ
10 月	・Sense HAT の制御	・API リファレンスマニュアルを読む	・Python 言語①【基本】
11 月	・動的な Web ページの制作 ・Sense HAT を用いた作品制作	・Web コンテンツ作成② ・アイデア出しミーティング, 作品制作	・PHP, MariaDB ・アイデア発想, 問題解決①
1 月	・Sense HAT とデータベース連携	・データベースへのアクセス	・Python 言語② 【データベース操作】
2 月	・ネットワークを介したデータ処理	・WebIOPi, MJPG-streamer を用いたデータサーバのシステム制作	・ソフトウェアインストール ・問題解決②, システム設計
3 月 初旬	・ロボット教材を用いたゲーム型 IoT 実践課題 (特別授業)	・総合学習 ・ICT・IoT・ロボットを活用したグループワーク	・問題解決③ ・計測データの処理と分析, 及び考察

2.6 ロボット教材を用いたゲーム型 IoT 実践課題

本授業実践における学習の総まとめとしてロボット教材を用いたゲーム型 IoT 実践課題を総合学習として行った。これは図 3 に示すロボット教材を遠隔で制御し、人間が立ち入ることのできない被災地域を想定した迷路を探索しながら、ロボットから定期的に送られてくる距離等のデータをデータベースサーバが受け取り蓄積し、探索終了後これらのデータから迷路情報（構造、被災者の有無）を解析する課題である。学習者は 2018 年度 9 月から 2 月の授業における IoT システム構築実習を通して Web ページの制作、センシング、データベースへのデータ蓄積、ネットワークを介した制御などの技能、技術について個別に学習を行っている。この総合学習ではそれらの学びをさらに深められ、生徒がより積極的に取り組めるよう、ゲーミフィケーションの考え方が導入されている[15]。複数生徒でチームを構成し、それぞれが役割を分担して課題に取り組んで高得点を目指すことで、技術・技能だけでなくチーム内での協調性や社会性を育むことができ[16]、本稿で定める学習目標に沿った課題となっている。

3. IoT システム構築実習授業の学習効果検証

3.1 学習効果の検証

テストにより理解度を、アンケートにより意欲・関心の変化の学習効果を検証した。アンケートは 2018 年度 10 月と 2018 年度 3 月の計 2 回行った。アンケートは各設問において「大変そう思う(5 点)」、「そう思う(4 点)」、「ふつう(3 点)」、「そう思わない(2 点)」、「全然そう思わない(1 点)」の 5 段階の回答として評価した。加えて自由記述で学習者の考えを可能な限り読み取れるようにした。また、実現するシステムにおけるデータの流れに関する理解を問うテストを実施した(図 5)。テストは 2 度行い、1 度目はシステム構築を実習した 2018 年度 1 月、2 度目は 2018 年度 3 月のロボット教材による総合学習終了後である。

3.2 アンケート内容

2018 年度 10 月と 2018 年度 3 月に行った共通の質問(Q1)と 2018 年度 3 月に行った質問(Q2, Q3)の内容を以下に示す。

【Q1 : IoT システム構築実習授業への感想】

- (1) 面白さ
- (2) 達成度
- (3) 難しさ
- (4) 自由記述(上の質問への回答の理由等)

【Q2 : 教材ロボットについて】

- (1) 教材ロボットについての難易度
- (2) 教材ロボットへの興味
- (3) 教材ロボットの仕組みの理解
- (4) 教材ロボットを使用した学習の理解
- (5) 上の質問への回答の理由 (自由記述)

【Q3 : 授業で学習した各項目について】

- (1) Raspberry Pi の使い方の理解
- (2) Arduino の使い方の理解
- (3) Python 言語での作品制作は面白かったか
- (4) Web ページ制作は面白かったか
- (5) データベースの使い方の理解
- (6) ネットワークを介したデータの流れについての理解
- (7) 距離センサの使い方の理解
- (8) Sense HAT の使い方の理解
- (9) 理解できたプログラミング言語等は？
 - 1.Python
 - 2.PHP
 - 3.HTML
 - 4.Linux コマンド
- (10) 上の質問への回答の理由 (自由記述)

表 2. Q1 への回答 (2018 年度 10 月)

	(1)	(2)	(3)
\bar{x}	2.6	2.9	3.7
s^2	0.66	1.48	0.99
s	0.81	1.22	0.99

(平均 \bar{x} , 分散 s^2 , 標準偏差 s)

表 3. Q1 への回答 (2018 年度 3 月)

	(1)	(2)	(3)
\bar{x}	3.7	3	2.1
s^2	0.63	0.82	0.41
s	0.79	0.91	0.64

表 4. Q2 への回答

	(1)	(2)	(3)	(4)
\bar{x}	2.3	3.6	2.9	3.1
s^2	0.65	0.81	0.78	0.71
s	0.81	0.9	0.88	0.84

表 5. Q3 への回答

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
\bar{x}	3.4	2.5	3.7	3.6	3.4	3.1	3.2	3.4
s^2	0.82	0.82	0.56	0.66	0.67	0.78	0.74	0.8
s	0.91	0.91	0.75	0.81	0.82	0.88	0.86	0.89

3.3 結果の分析

アンケート結果を表 2 から表 6 に示す。表 2, 表 3 は, アンケート Q1 (授業の感想) について, それぞれ IoT システム構築授業開始すぐである約 1 か月後の 10 月と, 全授業終了後の 3 月に行われた結果である。これらの結果を比較すると, 難易度に関する設問は 3.7 から 2.1 と低い値へと推移しているのに対して, 興味関心に関する設問は 2.6 から 3.7 に上昇しているのがわかる。この結果より学習者は, ロボット教材を用いたゲーム型 IoT 実践課題の特別授業終了後には, 授業を難しくと感じているにもかかわらず, 意欲・関心を高く保っていることが読み取れる。表 4 は, 教材ロボットについての感想である。「(1)教材ロボットについての難易度」では 2.3 と低い値であるのに対して, 「(2)教材ロボットへの興味」は 3.6 と高い数値を示している。自由記述では「自分で考えて行動したりしたので色々と学べた」, 「皆で話し合っって機体の課題点を探したり, データからわかる情報を整理したりして楽しかった」といった記述もあったことから, IoT システム構築実習において, 教材ロボットを使用した課題が学習者へ興味を抱かせ, 授業を面白いと感じさせることができる可能性を示唆している反面, 理解には至っておらず教育手法や伝達方法に課題を有していることが考えられる。

表 6. Q3 (9)への回答

理解できた言語	延べ人数 [人]	割合 [%]
Python	12	40
PHP	4	13.3
HTML	13	43.3
Linux コマンド	2	6.7

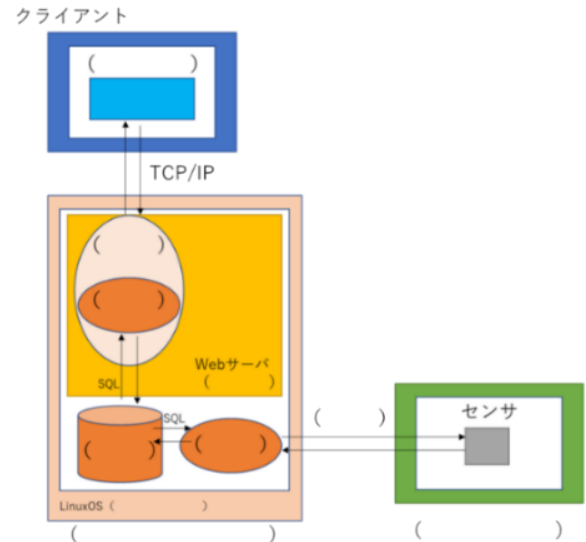


図 5. 2018 年度 1 月に実施したテストの抜粋

表 5 は, 授業で学習した各項目についての意識調査である。「(2)Arduino の使い方」については 2.5 と低い値を示している。これは, マイコンに関する内容が 3 月の総合学習での授業で扱っただけということが原因と考えられる。

「(3) Python 言語での作品制作」の項目が 3.7, 「(4)Web ページ制作」の項目が 3.6 と高い数値を示しており, その他データベース, ネットワーク, センサについても 3 以上の値となっていることから, 学習後それぞれの内容について少なからず理解が進んだことが期待される。また, 表 6 の結果である「(9)理解できたプログラミング言語等は」という質問に対して, 作品制作で活用した Python, Web ページ制作に用いた HTML が高い値を示している。これは, 各項目学習において行った課題制作実習を通して学んだ内容が学習者の理解を助けたと考えられる。

また, IoT システム構築についてデータの流れの観点から生徒の理解度を確認するために, 図 5 で示したようなシステム概念図の各ブロックにあう語句を語群から選択して書き込むテストを実施した。その結果の平均点は 1 回目が 46 点, 2 回目が 40 点であり, 結果として大きな変化は見られなかった。ロボット教材を用いた総合学習は生徒の興味関心を高めることは確認できたが, IoT システム構築における知識の定着においては大きな学習効果は確認できなかった。

以上より、本稿で示した IoT システム構築実習で目指した、「学習者が情報技術に触れて興味を持つとともに、自分の適性を考える機会になる」ことについては一定達成できたが、知識の定着においては教授方法や教育手法において再考の余地があると考えられる。

3.4 教育手法の考察

IoT システム構築実習が、学習者の知識の定着において学習効果を高めることについて考察する。アンケートの自由記述に「説明されている時は分かるけど時間が空くと抜けていく。」という記述があった。本来は、システムに用いられている技術のつながりについて、実習という実感の伴う学習によって具体的なイメージが得られるべきであり、それによって技術と知識が定着する。しかし、それがなされていないと推察される。実習を単なる作業とするのではなく、技術的な内容について、その働きと技術のつながりを意識させる教育手法が必要であると考えられる。

IoT について学習する際に難しいのは定型が無く、とらえどころが無いことが考えられる。IoT システムについて技術のつながりやデータの流れについて効率的・効果的に学習するためには、教員側と学習者側に共通する IoT システムについてのモデルが必要である。小川は IoT システムの開発において、複数の開発者でより効率的に開発するために IoT 計測システムモデルを提案した[17]。それは IoT システムを役割毎に計測センサとデータ通信・処理を基にして5つのレイヤで整理し、システムを分類・モデル化したものである。システムの要素を記述することで視覚的に明示できるものである。これを教育手法の開発に利用することで、学習者へ個々の技術の役割やつながりを効率的に学習させることができると考える。図6に IoT 計測システムモデルを基にした IoT システム構築実習案を示す。このようにレイヤ毎に学習内容を整理して、技術と役割をイメージしながら実習できるようにする。

4. まとめ

本稿では、IoT システム構築を通してプログラミング、ネットワーク、データベースの基礎やデータサイエンス等をソフトウェア・ハードウェアにわたって学習することで、学習者が情報技術に興味を持てることが確認できた。また、学習者が技術・知識の定着を深めるために、IoT 計測システムモデルを基にしたレイヤ別の技術的役割と、それぞれのつながりに着目した教育手法を提案した。これによる学習指導計画は、更なる検討を重ねながら2019年度9月から授業実践を行って学習効果検証を行いたいと考えている。

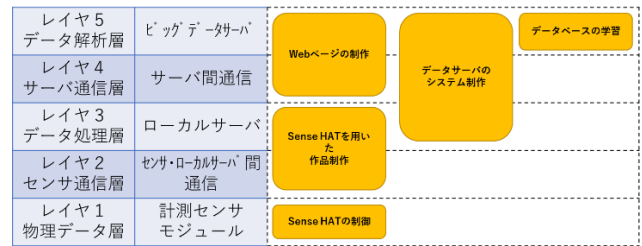


図 6. IoT 計測システムモデルを利用した IoT システム構築実習の概略図

参考文献

- [1] Kevin Ashton, "That 'internet of things' thing", RfID Journal, Vol.22, No.7, pp.97-114, 2009.
- [2] 経済産業省, "「未来の教室」と EdTech 研究会第1次提言", <http://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180625003/20180625003-1.pdf>, 2018(最終閲覧日 2019年5月23日)
- [3] 成政政, "第4次産業革命と未来の教育システムの変革", 教育総合研究, Vol.1, pp.67-90, 2017.
- [4] 経済産業省, "新産業構造ビジョン", <https://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>, 2017(最終閲覧日 2019年5月23日)
- [5] 文部科学省, "高等学校学習指導要領の全部を改正する告示等の公示について", http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/07/11/1384661_1_2_1_1.pdf, 2018(最終閲覧日 2019年5月23日)
- [6] 鹿野利春, "学習指導要領の改訂と共通教科情報科", 情報処理, Vol.58, No.7, pp.626-629, 2017.
- [7] 兼宗進, 久野靖, "プロトタイプ階層を持つ教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」", コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.1, pp.43-48, 2011.
- [8] 間辺広樹, 大村基将, 林康平, 兼宗進, "情報科教育におけるIoT学習環境の利用方法の検討", 情報教育シンポジウム2016 論文集, pp.98-105, 2016.
- [9] 細合晋太郎, 石田繁巳, 亀井靖高, 鶴林尚靖, 福田晃, "自律走行ロボットを用いたIoT開発PBLに向けた教材開発", 組込みシステムシンポジウム2015 論文集, pp.40-45, 2015.
- [10] Dan O.Sullivan, Tom Igoe, "Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers", Thomson Course Technology, 2004.
- [11] 堀内泰輔, 宮寄敬, "Arduino と Raspberry Pi を用いた, 高専向けフィジカルコンピューティング教育システムの開発", 長野工業高等専門学校紀要, Vol.51, pp.2-4, 2017.
- [12] 小川勝史, 田中宏明, 鄭聖熹, "高校教育課程物理における摩擦現象学習支援用 RT 教材の開発と評価", 工学教育, Vol.64, No.6, pp.99-104, 2016.
- [13] 小川勝史, 田中宏明, 鄭聖熹, "高校物理学習支援用 RT 教材の開発 円運動での学習支援教材の評価", 計測自動制御学会論文集, Vol.54, No.2, pp.281-289, 2018.
- [14] 間辺広樹, 長島和平, 並木美太郎, 長慎也, 兼宗進, "高等学校における複数言語によるプログラミング教育の提案", 情報処理学会論文誌, Vol.3, No.3, pp.29-41, 2017.
- [15] 小川勝史, 岸本有生, "高校生を対象としたIoT・ロボット技術を活用した情報・工学教育の実践", 計測自動制御学会, 2018
- [16] 岸本好弘, 三上浩司, "ゲーミフィケーションを活用した大学教育の可能性について", 日本デジタルゲーム学会, 2012
- [17] 小川勝史, 鄭聖熹, 青山宏樹, 米延策雄, "回復期における常時リハビリテーションを目的としたIoT歩行訓練器の計測システム構築", 日本機械学会 robomech2019, 2019