

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 7 月 4 日現在

機関番号：83602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K02850

研究課題名(和文)IoT実践技術者育成モデルの確立

研究課題名(英文)Establishment of the IoT practice engineer development model

研究代表者

野瀬 裕昭 (Nose, Hiroaki)

長野県工科短期大学校・情報技術科・教授

研究者番号：60774940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)： 今後加速することが考えられる情報系の技術者不足の解消と、Society5.0の普及を図るために、一般の人々も含めた「それぞれの問題領域におけるIoT化リーダーの育成」が急務となっている。

本研究では、IoTを身近なテーマに応用することを前提に、その方法を学ぶための簡単な教材とカリキュラムの開発を行った。IoT端末として、広く子供たちに親しまれているLEGO社のMINDSTORM EV3を採用、さらにデータ分析ツールとしてクラウドサービスによらないオリジナルのWebサービスを提供した。これにより、情報技術を専門としない人々でも、IoTという技術について身近な題材で容易に学ぶことが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：Society5.0の普及のためには、広く一般の人々にIoT技術を浸透させなければならないが、学ばなければならないことが広範に及ぶため普及の障害になっている。本研究では、ワンボードコンピュータなど一般の人々にとって馴染みのないツールを排除し、EV3やWebシステムなど親しみやすい教材ベースでのカリキュラムを確立し、IoTに関する学習を可能とした。

社会的意義：Society5.0を社会へ広く浸透させるために必要となるIoT技術の基礎について、情報を専門としない人々でも簡単にその仕掛けと意義について学ぶことが可能となった。

研究成果の概要(英文)： In order to solve the shortage of information technology engineers, which is expected to accelerate in the future, and to promote the spread of Society 5.0, there is an urgent need to "foster IoT leaders in each problem domain," including the general public. In this study, we developed simple teaching materials and curriculum to learn how to apply IoT to familiar themes, adopting LEGO's MINDSTORM EV3, which is widely popular among children, as an IoT terminal and providing an original web service as a data analysis tool that does not rely on cloud services. In addition, an original web service was provided as a data analysis tool that does not rely on cloud services. This makes it possible for people who do not specialize in information technology to easily learn about IoT technology through a familiar subject matter.

研究分野：情報ネットワーク，教育工学

キーワード：IoT Society5.0 DX デジタル化 DX人材開発 IoT人材開発

1. 研究開始当初の背景

団塊の世代が後期高齢者となる 2025 年に向けて高齢者人口の割合が急速に増加し、高齢化社会が一層進行する。さらに、人口全体の減少も相まって生産年齢人口(担い手)の不足が今後深刻になり、現在でも中小サービス業での人材不足などすでに社会問題化している。

この担い手不足に対する対策として、技術的側面から期待されているのが IoT である。センサーなどを介して様々なモノをインターネットに接続し、その状態などでデータを収集して分析し活用する技術である。この IoT をもとに、既存技術の最適化・効率化、さらには個人のニーズにきめ細かく対応したサービスの創出が期待されている。また、Industry 4.0 に代表される製造業、農林水産業、介護などのサービス業等、IoT の与える影響の範囲は非常に幅広い。

IoT を活用するための取り組みはすでに各方面で行われ、ビル管理の効率化、タクシー配車の最適化及び高齢者の見守りなど実際のサービスとして稼働しているシステムも登場している。これらのサービスはいずれも、各業界におけるニーズを情報システムベンダーが拾い上げ、IoT を利用したシステムとして開発し提供している。このような開発・提供の形態は、従来の情報サービスにおいてはごく一般的なものであり、効率的なシステム開発のフローとして広く受け入れられてきた。しかし、前述したとおり IoT の適用においては、個人あるいは組織のニーズにきめ細かく対応することが求められることとなり、次に上げるような問題の発生が予想される。

- ・個人それぞれのニーズに対応したシステム開発のためには、情報システムの開発者が絶対的に不足。
- ・個々の案件の規模が小さくなるため、システム開発における採算性が極めて悪化。

このため、従来通りのシステム開発の手法を取る限り、近い将来には IoT 化のニーズに対応できなくなる。従って、IoT による情報サービス創出に関しては、情報システムの専門家や開発者のみに頼るのではなく、新たなシステム化の担い手を育成する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、製造業における生産現場や社会生活における様々な問題 IoT を用いて解決することが可能な現場技術者の育成を行う教育カリキュラムの開発を目指している。この実現のために、各教育機関における実習で利用するための教材開発と、これを利用した実習のカリキュラム開発を行う。

既存技術の最適化・効率化、さらには個人のニーズにきめ細かく対応したサービスの創出などが IoT に期待されている役割であるが、それぞれニーズを最も理解しているのはその現場にいる人々である。このため、これら現場にいる人々が IoT によるシステム化を自ら行うことができれば、より効果的に IoT 化を推進できると考えられる。しかし、IoT を応用したシステム化を行うためには以下に挙げる専門的な知識・技術が必要となる。

- ・センサーの測定値をネットワークへ送信するための端末構築。
- ・集積されたデータの解析・活用。

1つ目の【端末構築】に関しては、センサーを接続しその測定値をネットワークへ送信するための端末として、現在は安価な小型ワンボードコンピュータが利用されている。代表的なものとしては Raspberry Pi や Arduino などがあげられる。これらは汎用のコンピュータであり、IoT 専用の端末として開発されたものではない。このため、必要とするセンサーを接続し測定値を得てネットワークで送信するためには、OS やドライバのインストール、更には必要に応じてソフトウェア開発が必要となるケースも存在し、利用するためには相当な知識と経験が必要となる。

2つ目の【データ解析】に関しては、センサーから得られたデータを蓄積し解析するために、各ベンダーから提供されているクラウド環境を利用することが一般的となっているが、ベンダーごとのツールの使用方法などを詳細に理解する必要がある。

IoT のシステム化に関する教育を行う場合、これら基礎的な知識や技術が必要となるため、教育の前段階としてワンボードコンピュータの利用方法及びデータ解析手法を学ぶ必要があり、現状ではこの部分に教育カリキュラムの多くを割かなければならなくなっている。ただし、これらの知識は、利用するワンボードコンピュータやデータ解析のツールが変わればまた新たに学び直さなければならない。さらには、IoT という仕掛けを使ったサービスの構築という本質的な課題とは異なるため、可能な限り短期間で習得させたいという要求がある。

そこで本研究では、上記の課題を解決するため、

- ・ワンボードコンピュータのビジュアル設定ツールの開発

・Web アプリケーションベースのビジュアルデータ解析ツールの開発

を行い、ワンボードコンピュータの設定やデータ解析ツールの使用方法などを可能な限り簡単化することで、現場のニーズに直結した IoT サービスを生み出すという本質的な部分の教育に特化出来る教材を開発する。さらに、これらを用いた教育カリキュラムの構築も併せて実施し、IoT を推進するための人材育成手法を確立する。

3. 研究の方法

本研究は、IoT サービス構築に関する教育を行う際、本質的なサービス構築という教育内容に至るまでに必要となる、【端末構築】【データ解析】に関するバックグラウンドの知識・技術の習得を容易に行えるシステムを開発し、さらに、これを用いた IoT 推進人材の育成カリキュラムの確立も行うものである。この実現のために、教育機関における IoT サービス構築演習の環境提供という目的に特化した教育環境及びカリキュラムの確立に関する研究・開発を行う。

【端末構築】については、利用するワンボードコンピュータが異なるとその設定方法などが異なることが最も大きな問題となっている。そこで、それらの違いを吸収するために、各ワンボードコンピュータを IoT 端末として動作させるためのドライバをそれぞれ開発する。また、このドライバにおけるセンサやネットワークの設定や動作設定を、接続したパソコン上でブロックプログラミングの要素を取り入れてビジュアル的に定義することが可能なソフトウェアを開発する。これにより、ボードによって異なる設定方法の違いを吸収する。

【データ解析】については、端末が発信するセンサデータを受信しデータベースへ蓄積するサーバを Web アプリケーションとして構築する。さらに、このサーバ上で蓄積されたデータを解析、加工するための処理を、必要となる処理のブロックとデータのフローを組み合わせることでビジュアル的に実現することが可能な Web アプリケーションを JavaScript により開発する。

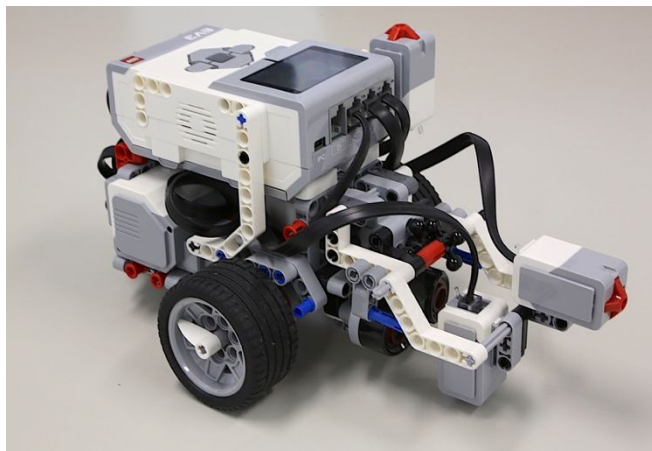
さらに、以上を組み合わせた演習教材により、IoT サービスの実現に向けた現場課題の分析とアイデアの実現を中心とした、IoT 化の担い手を育成する教育カリキュラムの確立を行う。

4. 研究成果

(1) 【端末構築】

ワンボードマイコン

プログラムによって制御する対象を、画面内で提示される変数の値(数値やテキストなど)から、LED の点灯や車の模型の操作のような具体的なものにする事で、学習者の直感的理解を促すとともに、モチベーションの向上につながる事が期待される。これは、IoT の学習において必要となるマイコンボードなどの学習時における、ハードウェアとソフトウェアを同時に学習しなければならないという、学習に対するハードルを下げる事が期待される。信州大学で開発され実用化されているビジュアルプログラミング環境 AT をベースに、外部ハードウェアを制御する機能を追加実装することで学習環境を構築した。さらに、ESP8266 搭載マイコンボード、ブレッドボード、LED 等電子部品からなる、プログラムの動作結果を LED の明滅によって表現可能な教材を開発し、実際の授業で使用し評価を行った。評価はアンケートにより行い、アンケートは7件法による22問の設問で構成し、授業の事前と事後で実施した。事前と事後のアンケート結果において有意水準5%で検定を行った結果、有意差の認められる設問は存在しなかったが、すべての設問で増加が認められた。とくに、「プログラミングが楽しいか?」「プログラミングは自分の将来に役立つか?」という2問に関しては目立った増加が認められ、モチベーションの向上や学習の意義についての理解を促す効果があったと認められる。



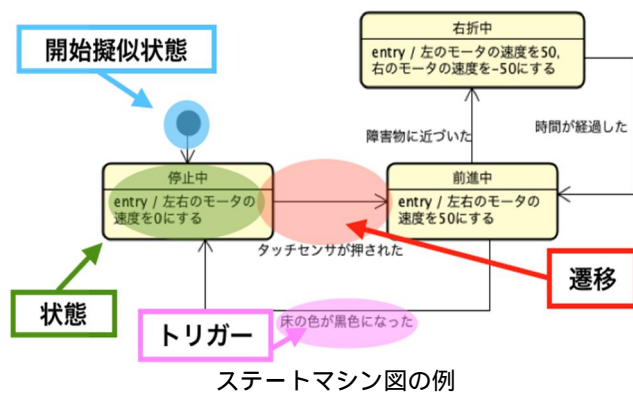
LEGO MINDSTORM EV3 教材 (走行体)

IoT の学習においてワンボードコンピュータの使い方、特にセンサを接続して測定値を取得したり、アクチュエータを駆動したりと言った外部機器を制御するプログラミングは、初学者にとって大変ハードルが高い。今回、信州大学の AT を利用して開発したビジュアルプログラミングツールにおいては、これらの「難しい」というイメージを払拭し IoT 機器の開

発を一般の人々にとってより身近な物とする可能性がある。

LEGO MINDSTORM EV3

本研究において、開始当初に端末として想定していたのはワンボードマイコンであったが、調査を進めた結果、市販されているプログラミング学習ツールとして LEGO MINDSTORM EV3 にも注目した。Arm9 プロセッサを内蔵した EV3 本体と、LEGO ブロックとして販売されている各種センサーやアクチュエータをケーブルで接



ステートマシン図の例

続することで、IoT 端末として利用することが可能である。ワンボードコンピュータよりも製品としての完成度が高く、一般の人におけるなじみややすさと言う点で大きな利点がある。ただ、EV3 であってもプログラミング学習の際にソースコードベースでの学習から入門するのは非常に難しい。LEGO 社が提供する専用のビジュアルプログラミングツールは存在するが、概念的に「何を目的とするのか」を意識したプログラミングを更に学習させるため、UML におけるステートマシン図をベースとしたプログラミングツールを開発し、これを学習に利用した。学習者がなじみやすいように、教材は走行体としてこれを駆動することで学習を進める。

・開発したツールの概要

今回開発した教材には、ステートマシン図を記述する機能と、ステートマシン図から EV3 上で実行可能なソースコードを作成するという2つの機能がある。ステートマシン図は、システム設計における UML で定義される一般的な図である。そこで今回は、ステートマシン図を記述する機能として、UML モデリングツールである astah* を利用する。

ステートマシン図から EV3 上で実行可能なソースコードを作成する機能は、astah* のプラグインとして開発する。また、EV3 のプログラミング環境として TOPPERS/EV3RT を使用しているため、生成する走行体用のソースコードは C++ で記述される。

・ステートマシン図からのソースコード作成

ステートマシン図からソースコードを作成する一般的な方法としては、状態を表す関数と状態遷移を管理する関数をそれぞれ作成するというものがある。状態の関数には、その状態が持つ状態内アクションを実行する処理とトリガーとなるイベントを監視する処理を持たせる。状態遷移を管理する関数は、現在の状態と発生したイベントの組み合わせからどの状態へ遷移すべきか判断する処理を持たせる。この2種類の関数を使うことで、ステートマシン図で記述された振る舞いをソースコードへ変換することが可能となった。

・オブジェクト指向に基づいた実装

ただ上記の方法で実装するソースコードは条件分岐が多くなり、可読性が低くなる。そこで、ステートマシン図と対応付けしやすいソースコードを作成する方法として、ステートマシン図における各要素をクラスとして定義し、オブジェクト指向に基づく実装を行う方法を提案した。これにより、各要素に対応する処理がソースコード上でオブジェクトとして定義されるため、よりステートマシン図と対応付けしやすいソースコードの作成を可能とした。

・ソースコード変換処理の実装

生成される EV3 用ソースコードは、可読性の向上や構造化の観点からメインタスクとイベントタスクの2つに分け並列処理とした。

メインタスクでは、走行体の状態遷移やそれに伴うアクションの実行を行う。イベントタスクでは、トリガーとなるイベントの発生を遷移オブジェクトにそれぞれ伝達する処理を行う。イベントタスクにおけるイベントの発生を遷移クラスを通してメインタスクへ伝達し、そのイベントに該当する遷移オブジェクトの遷移元の状態が、現在の走行体の状態であれば状態の遷移を実行する。

・この教材については、工科短期大学の IoT 実習においてセンサー端末として EV3 を利用する学習に導入し、学習効率を上げることが出来た。また、学生のモチベーションも向上したことを確認している。

(2)【データ解析】

(1) で開発した端末が取得したデータを、無線 LAN 経由で収集して蓄積するデータベースサーバーを構築した。このサーバーに関しては、Web API を用いて構築することにより、IoT 端末において複雑なプログラミングを行わなくても、一般的な HTTP による通信を実装することにより通

信が可能となるように実装した。

データ解析については、Python による GPU を利用した深層学習の解析環境を Docker によるコンテナとして実装した。コンテナは、深層学習の学習を行うためのコンテナと、データ解析のツールとして自動的に計算を実施するコンテナと区別し、学習者に対してどのような仕組みでデータ解析が行われているのかを理解させた上で、ツールを利用させることを可能としている。深層学習においては、ネットワークの構造定義よりそのパラメータ調整において初学者の躓くポイントがあり、それぞれのパラメータの持つ意味について十分理解した上で利用することが可能となるように開発した。

ハードウェアとしては、BIOS レベルで GPU のユニットを分割することが可能な GPU 演算ユニットを利用し、個々のコンテナにおいて完全に独立した演算を可能とした。これにより、複数の学習者が 1 台のサーバを用いて演習を行う際でも、他の学習者の利用状況により演算の実行時間等が大幅に伸びてしまうなどの問題を解決した。長野県工科短期大学校における AI 実装の演習環境として、現在評価を実施しているところであり、今後も改良を続けてゆく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 野瀬裕昭, 北條史華	4. 巻 23
2. 論文標題 LEGO MINDSTORM EV3 を用いた自律ロボットプログラミング教育の取り組み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 長野県工科短期大学校紀要	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 北條史華, 野瀬裕昭
2. 発表標題 LEGO MINDSTORM EV3を用いた自律ロボットプログラミング教育の取り組み-ステートマシン図によるプログラミングツールの開発-
3. 学会等名 教育システム情報学会 北信越支部 令和元年度学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野瀬裕昭, 北條史華, 吉池将広, 児玉澗央, 駒井敦
2. 発表標題 LEGO MINDSTORM EV3 を用いた小学生向け自律ロボットプログラミング教育の実施報告
3. 学会等名 計測自動制御学会 中部支部シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北條史華, 野瀬裕昭, 桃井貞美
2. 発表標題 LEGO MINDSTORM EV3を用いた小学生向け自律ロボットプログラミング教育の取り組み
3. 学会等名 教育システム情報学会 北信越支部 平成30年度学生研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上島駿, 國宗永佳, 山本樹, 新村正明
2. 発表標題 ビジュアルプログラミング環境ATのハードウェア制御機能を用いた教材の開発と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	新村 正明 (Niimura Masaaki) (20345755)	信州大学・学術研究院工学系・准教授 (13601)	
研究分担者	國宗 永佳 (Kunimune Hisayosi) (90377648)	千葉工業大学・情報科学部・教授 (32503)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------