

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K02991

研究課題名(和文) 助け合う次世代IoTシステムの実践教育プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of education programs for next-generation cooperation IoT system

研究代表者

早川 潔 (HAYAKAWA, KIYOSHI)

大阪公立大学工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：20325575

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)：次世代IoT化に向けた協調・分散IoTシステム(助け合うIoTシステム)を開発できる実践的な技術者教育プログラムを開発した。実際のIoTシステムを開発し、その結果IoTの段階を3つ考案した。各段階で、独創的かつ実践的なプログラムを用意し、アクティブラーニングにより開発させた。実験教材を3種類開発した。電子回路基礎実験、IoT実験、FPGA実験である。また、企業の新入社員ようにIoT導入教材も作成した。これらのまとめた論文を発表した。また、これらの実験に必要な基礎知識を学ぶための教科書を執筆した。さらに、実験を行った学生にアンケートを行い、本実験教材の有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究により、協調・分散に対応したIoTシステムの教材の指針が得られた。どのような実験が必要か、分散・協調するIoTシステムを開発上でどのような実験が重要なのかを示すことができた。学生が主体的にIoTシステムを開発するとどのようなものができるか、新たな知見が得られた。また、学生にアンケートをとることにより、この実験教材の良い部分や悪い部分が浮き彫りになった。

社会的意義として、この実験教材を使うことにより、より複雑な分散・協調型のIoTシステムを開発できる人材が増える。今後、DXがより一層進んでいく中で、それに対応する技術者を育成できる教材が開発されたと思われる。

研究成果の概要(英文)： We have developed a practical engineer education program to develop cooperative and distributed IoT systems (IoT systems that help each other) for the next generation IoT. We developed an actual IoT system, and as a result, we devised three phases of IoT. In each phase, we prepared an original and practical program and had students develop the system through active learning. Three types of experimental materials were developed. Three types of experiment materials were developed: basic experiments on electronic circuits, IoT experiments, and FPGA experiments. We also developed IoT introduction materials for new employees of companies. We published a paper summarizing these materials. We also wrote a textbook for learning the basic knowledge required for these experiments. Furthermore, we conducted a questionnaire survey among the students who conducted the experiments to verify the effectiveness of the teaching materials.

研究分野：コンピュータシステム

キーワード：組込みシステム IoT AI FPGA エッジシステム

1. 研究開始当初の背景

IoT (Internet of Things) や AI (人工知能) などの ICT が急速に発展している。それに伴い、IoT 技術者の不足が深刻化しつつある。IPA が発表した「IT 人材白書 2017」では、IT に精通していない企業でも、約 6 社に 1 社が IoT による変化の中にいると感じ取っている。IoT に関して、本校に相談する中小企業も増加し、私を含むグループでいくつかの IoT システム構築している。さらに、「第 5 期科学技術基本計画 (2016 ~ 2020 年)」において、サイバー空間 (コンピュータ上での仮想空間) とフィジカル空間 (現実社会) が高度に融合・協調・連携した社会「超スマート社会 (Society 5.0)」を推進している。このような社会情勢の中、今後育成しなければならない人材は高度な IoT 技術を習得している技術者と考える。

初等教育にも ICT に関しての教育が進みつつある。2017 年 3 月末の「学習指導要領」によれば、2020 年より初等教育からのプログラミング教育が必修化される。また、AI やビッグデータに必要な統計に関する授業も取り入れられる。また、生徒各々がタブレット端末を持ち授業を行ったり、アクティブラーニング (生徒が主体的に取り組む教育手法) も徐々に取り入れられたりしている。したがって (学生が主体的に) 次世代 IoT 技術を習得できる環境は整いつつある。

このような環境の中、国立高専機構では、KOSEN (高専) 4.0 イニシアティブ採択事業として、釧路高専が IoT 活用技術者の育成プログラムを行っている。また、高知高専も地域産業である第 1 次産業での IoT 活用技術者の教育を行っている。高度な技術を持つ中小企業が多い大阪でも、IoT を教育する拠点が必要である。今後、中小企業同士が協調・分散して生産することにより、効率的なモノづくりが可能になる。また、消費者との協調も行い、新たな価値 (コト) を創造することもできる。

2. 研究の目的

本研究では、次世代 IoT 化に向け、協調・分散 IoT システム (助け合う IoT システム) を開発できる実践的な技術者教育プログラムを開発する。本教育教材では、IoT の 4 つの段階に合わせて、より実践的な教材を用意し、且つアクティブラーニングさせることにより、学生の主体的かつ創造的な思考を育てる。

3. 研究の方法

本研究を遂行するにあたり、IoT の段階を 3 つに分類した。その 3 つの段階は、見える化、制御、自律化である。各段階で、独創的かつ実践的なプログラムを用意し、アクティブラーニングにより開発させる。協調・分散システムを効率よく開発させるために、協調・分散用通信機能を装備した組込ボードおよび協調・分散に特化した通信ライブラリを開発する。学生は、詳しい通信や演算を気にせず、ライブラリを組み合わせるだけで、助け合う IoT システムを開発できる。この教材を使ってアクティブラーニングで IoT システムを開発させた、

(1) IoT の実装調査

分散・協調型 IoT システムを開発するにあたり、IoT システムを調査した。当時 IoT の需要が高まっていた予知保全のシステムを調査し、実際にシステムを構築した。

(2) システム構成

本システムは、センサー、マイコンボード、商用クラウドサービス、および通信・表示用マイコンで構成されている。センサーは照度、温度、電流、湿度、など色々なセンサーを用意した。マイコンボードは 2 種類用意した。センサーデータ取得用マイコンとクラウド通信および可視化用マイコンである。マイコンの他に FPGA でも実験できるように教材を用意した。商用クラウドサービスは、Ambient を活用した。

(3) 第 1 フェーズ：センサーデバイスを使った基本実験

本実験教材は、全体で 3 つのフェーズで行われる。

第 1 フェーズでは、アクチュエータとセンサの基本的な実験プログラムを開発した。アクチュエータ関連の実験では、Arduino に慣れるために LED 照明の実験から始める。この実験では、アクチュエータの動作に重要な PWM の実験を行う。PWM は DC モーターの制御に使われる。さらに、ステッピング・モーターやサーボ・モーターといったアクチュエーター・デバイスの実験も行う。センサーの実験は、温度センサーおよび湿度センサーから始まる。近距離センサや赤外線リモコンセンサの実験も行う。

(4) 第 2 フェーズ：クラウドを使った基礎実験と可視化

第 2 段階では、クラウドサービスを使った基礎実験教材を開発した。クラウドサービスとして Ambient を使用し、データの保存と読み込み操作の実験を開発した。通信実験では、JetsonNano と Ambient を使用する。JetsonNano は簡単なデータを Ambient に送信し、Ambient は Ambient から JetsonNano にデータを読み込むことができるかを実験する。その後、センサーの値を通信する実験教材を開発した。

センサーの値は Ambient に保存され、Ambient に保存されたデータを元にアクチュエーターが動作するため、Arduino から JetsonNano を経由して Ambient にセンサーの値を保存する実験をする教材を開発した。また、逆に Ambient から JetsonNano を経由して Arduino へデータを送ることにより、アクチュエータデバイスを操作できるか実験する教材を開発した。JetsonNano へ

の通信はシリアル通信で行い，JetsonNano と Ambient 間の通信は無線 LAN で行う．センサーデータを Ambient の可視化ツールで可視化する実験教材を開発した．

(5) 第3フェーズ：クラウドを使った基礎実験と可視化

第3フェーズでは，クラウドサービスを利用した協調動作実験を行う教材を開発した．協調動作ライブラリを用いることで，複数のデバイスが互いの状態を把握しながら協調動作を行う．協調行動では，スマートカーを用いる．このスマートカーには，Arduino と Jetson Nano が搭載されている．Arduino はセンサーデータの受信やモーターの制御に，Jetson Nano はクラウドへのデータ送受信や機械学習に使用する．センサーには距離センサーと USB カメラで構成されている．

実験の一例として，自動車と信号機の協調動作教材を開発した．交差点では，自動車同士の衝突を避けるため，自動減速システムが考えられる．優先道路の信号機に距離センサーを設置し，自動車の侵入を検知する．信号機までの距離をクラウドにアップロードし，非優先道路を走行する自動車に送信する．優先道路を走るクルマが信号に近づくと，非優先道路を走る自動車のモーターを自動的に減速し，停止させる．

アクティブラーニングとして，学生が自ら考えた IoT システムのプロトタイプを作成させた．この IoT システムのプロトタイプには，第1および第2フェーズで使用したセンサー，マイコン，クラウドシステムを活用して作成させた．基本的には，多くのチームが町の既存のシステムを IoT システムに改造した．例えば，自分たちで設計したスマートカーを使ったゲートシステムやゴミの量を知らせるゴミシステムなどが挙げられる．

4．研究成果

実験成果として，実験教材を3種類開発した．電子回路基礎実験，IoT 実験，FPGA 実験である．また，企業の新入社員用に IoT 導入教材も作成した．これらのまとめた論文を発表した．また，これらの実験に必要な基礎知識を学ぶための教科書を執筆した．さらに，実験教材を開発するにあたり，自ら IoT システムを構築し，それらを論文にまとめた．

協調型 IoT 実験教材を本校電子情報コース3年生の実験で行った．実験教材について，学生アンケートを行った．

アンケートは第1フェーズから第3フェーズまでの実験を行った学生を対象に実施した．実験の難易度を5段階で評価した．第1フェーズでは75%の学生が非常に簡単から普通と回答した．第2フェーズでは，42%の生徒がとても簡単から普通と答えた．第2フェーズでは，「とても簡単」～「普通」と答えた生徒が42%で，第1フェーズに比べ33%減少した．第3段階では，「とても簡単～普通」と答えた生徒が66%に増加した．

第2フェーズでは，Arduino から Jetson Nano，Jetson Nano から Ambient への通信方法を学ぶ．これらの通信に C++ と Python という2つの言語を使用することで，若干の混乱を招いたかもしれない．第3フェーズでは，第1，第2フェーズの実験の知識をもとに実験ができるため，第2フェーズよりも簡単に感じる学生が多いと考える．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Kiyoshi Hayakawa, Takeshi Wada | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Development of experimental materials for cooperative IoT devices | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 11th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering | 6. 最初と最後の頁 36-40 |
| 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 有 |
| 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 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 MASAHARU OHASHI, ATSUSHI NAKAMURA, TOMOKAZU ODA, KIYOSHI HAYAKAWA, AND YUSUKE, KOSHIKIYA | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Measurement of fiber parameters of pure silica core fibers based on the OTDR technique | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 15078-15088 |
| 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 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Kiyoshi Hayakawa, Akira Heima, Masahiro Ozaki, Satoshi Yoshida | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 A Development of AI Predictive Maintenance System using IoT Sensing | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 8th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing | 6. 最初と最後の頁 142-147 |
| 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 有 |
| 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 - |

| | |
|--|-------------------|
| 1. 著者名 渡邊 晃生, 青木 一弘, 早川 潔 | 4. 巻 53 |
| 2. 論文標題 損傷センサシステムにおける暗号のハードウェア実装 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 大阪府立大学高専研究紀要 | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 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 有 |
| 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6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 小寄泰造, 早川潔 |
| 2. 発表標題 IoTデバイスによる橋梁の遠隔モニタリングシステムの開発 |
| 3. 学会等名 日本高専学会 第28回年会後援会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Development of a Deep learning system with small amount of data for Bridges Health Monitoring |
| 2. 発表標題 Kiyoshi Hayakawa, Syusaku Tomita , Kenta Matsunaga , Takeshi Wada, and Takashi Otab |
| 3. 学会等名 E International Conference on Industrial Application Engineering (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 平間 旭, 尾崎 雅洋, 吉田 悟, 早川 潔 |
| 2. 発表標題 IoT センシングと AI 予兆検知の実証開発 |
| 3. 学会等名 日本高専学会第26回年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 松永 健太, 和田 健, 小幡 卓司, 早川 潔 |
| 2. 発表標題 深層学習を用いた遠隔橋梁点検システムの開発 |
| 3. 学会等名 日本高専学会第26回年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 早川 潔 |
| 2. 発表標題 インフラおよび工場のメンテナンスにおけるIoT/AI の活用 |
| 3. 学会等名 大阪府立大学 テクノラボツアー（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kiyoshi Hayakawa |
| 2. 発表標題 Development of a Crack Monitoring System Using Several CNN Models |
| 3. 学会等名 2ndJoint International Conference on Science, Technology and Innovation, Cooperated by IEEE（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 白田昭司、早川潔、伊藤敏、井上祥史、鷲野嘉映 | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 技術評論社 | 5. 総ページ数 368 |
| 3. 書名 例題で学ぶ はじめての電気電子材料 | |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 早川 潔 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 技術評論社 | 5. 総ページ数 312 |
| 3. 書名 【例題で学ぶ】はじめて電気数学 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>助け合う次世代IoTシステムの実践教育プログラムの開発 https://www.ct.omu.ac.jp/hayakawa/iot_ex/index.html ドローンを活用したプログラミング教材の開発 https://www.ct.omu.ac.jp/hayakawa/drone/index.html 助け合う次世代IoTシステムの実践教育プログラムの開発 https://www.ct.omu.ac.jp/hayakawa/iot_ex/index.html ドローンを活用したプログラミング教材の開発 https://www.ct.omu.ac.jp/hayakawa/drone/index.html</p> |
|---|

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 | 和田 健 (WADA TAKESHI) (00469587) | 大阪公立大学工業高等専門学校・その他部局等・教授 (54401) | |

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1件

| | |
|---|-------------------------------------|
| <p>国際研究集会 2ndJoint International Conference on Science, Technology and Innovation, Cooperated by IEEE</p> | <p>開催年 2019年～2019年</p> |
|---|-------------------------------------|

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 |
|---------|---------|