

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K02979

研究課題名(和文) データサイエンス系学生の自律的IoT課外学習に特化した実験システムの開発と検証

研究課題名(英文) Development and evaluation of IoT experiment learning materials specialized for self-directed learning class in information engineering course for data science.

研究代表者

志子田 有光 (SHIKODA, Arimitsu)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：00215972

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)：本研究は、大学等の情報系学部・学科等に所属する学生を対象に、IoT開発技術を習得させるための教材の在り方について、特に課外授業や自宅における自律型授業において必要となるソフトウェア開発技術、電子デバイスなどを用いた回路開発技術を支援する教材モデルを開発し、検証を行うことを目的としている。コロナ禍によって、予定していた学内における課外学習モデルの実証実験等は見送ったが、自律学習に必要なソフトウェアの修正支援、電子回路の修正支援のうち、現在の生成AIなどでも解決が難しい電子回路実装における誤配線検出について、AI技術を用いた手法を提案し、研究を進めた結果、一定の成果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、情報系学生が自律してIoT機器の開発技術などを修得するために必要な教材が持つべき要件について問題点を明確にし、その具体的な解決方法をAI技術を用いて提案していることに学術的意義があると考えられる。研究期間中に直面した新型コロナウイルス感染症の感染拡大による未曾有の災害下にあっても遠隔授業等において、電子回路構築の学習支援を自動化あるいは補助するシステムの開発は、教育効果を保証し、自律学習を試みる学習者の技術力を養成するために重要である。本研究を進めることで、大学などの教育機関のみならず、広く産業界においてIoT開発を支援しうる技術としても社会的意義は十分認められる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop and validate a teaching material model to support the acquisition of IoT development skills for students enrolled in information science departments or programs at universities and other educational institutions. The focus is particularly on software development techniques necessary for extracurricular classes and self-directed learning at home, as well as circuit development techniques involving the use of electronic devices. Due to the COVID-19 pandemic, planned experimental demonstrations of the extracurricular learning model within the university campus had to be postponed. However, efforts were made to modify and support software for autonomous learning and propose an AI-based approach for detecting wiring errors in electronic circuit implementations, which is difficult to solve even with current AI generation technologies. As a result of this research, certain achievements were obtained.

研究分野：教育工学

キーワード：教育工学 AI技術 物体検出 誤配線検出

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 大学などの高等教育機関において、文系理系を問わずデータサイエンスなどのAI関連科目の必修化が検討されている中、近年、情報工学を専門とする大学や高等専門学校等の学科では、IoT技術の急激な進歩に伴い、新しい知識と技術を修得させるため、情報工学系専門科目の履修時間を以前に増して充実させる必要が生じている。これに対し、特にIoT分野や組み込み開発で重要となる物理センサー技術や電子回路学に関連する知識を実体験として確認する実験時間を充分確保することが難しく、これを補完するためには高いモチベーションをもって自律的に学べる課外学習支援のための仕組みを導入することが必要である。

(2) 本研究の前提として、電子回路に関連する対面授業における正規の講義や演習を補填する形で電子回路技術修得に向けた学内外での自律的課外学習環境を提供することを想定し、実際に回路作成などを行う、難易度の比較的高い実習教材を用いた学習環境および学習支援の仕組みを構築する必要があった。

(3) 一方、2020年度から新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染拡大により、全面的に遠隔授業への転換を余儀なくされたため、当初の研究計画の大幅な見直しも迫られた。研究期間の延長を認められた2022年度前期に至るまで、対面による指導、学生間のアクティブラーニング、協調・協働学習などを実施することが不可能となった。そのため、実技を伴う演習授業において用いる教材の再構築から配布方法に至るまで全面的な再検討が必要となり、教育機関、講義によっては機材を用いずデータのみを用いた実験、実習を導入した事例も見受けられた。

以上の状況において、遠隔授業等で必要となる電子回路構築等の学修支援において、以下に述べるような新たな技術の開発を行う必要が顕在化してきた。

## 2. 研究の目的

(1) 当初の研究目的は、情報系の学生がIoTなどに関連した電子回路作成の実技科目において、技術や知識を補填するために、自律的課外実習を自ら学内や自宅において行うための教材の在り方について、学生との対面授業と学内における課外学習環境の提供をベースにハードウェア教材とソフトウェア教材(演習指針を含む)モデルの開発、及び実証実験とその評価を行うものであった。

(2) しかし、新型コロナウイルス感染症の急激な拡大に伴い、2020年度から2022年度まで、研究実施機関における学生はほとんどすべての講義が遠隔授業として実施されることとなり、学生との十分なコミュニケーションが困難となり、またコロナ禍の長期化の影響から、従来の対面を前提とした実証実験を行うための協力者を確保することが研究期間の最終年度の段階で不可能となった。この期間において行った研究内容などは研究方法、及び成果の節で順に報告する。

(3) 上記の理由から、本研究では、本来の目的に沿った形で研究方法論を再検討し、このような、学習環境の急激な変化が今後生じた際にも対応しうるような、広く普及している汎用的な教育機材を前提に、新たな学習支援技術を開発することとした。具体的には、自律学習や遠隔指導を通じた演習において重要であると考えられる電子回路の作成支援技術の確立を目指し、回路の結線に対する自動判定を行うことを到達点とした基礎技術としてAI技術を応用した物体検出技術の開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 教材の構築

2019年度：本研究では、教科書となる教材、いわゆるソフトウェアの部分と電子デバイスなどを含む実技用教材のハードウェアの部分にわけ、コロナ禍において年度ごとの状況変化に応じた教材の開発を行うこととなった。コロナ禍が予想されなかった2019年度は、2020年度から学生を対象に実証実験を行うための電子教材開発を開始した。ハードウェアには世界的に普及が認められ、入手も比較的容易であったRaspberry Pi (Raspberry Pi 財団)をベースとし、Bread Boardを電子回路構築基盤としたもので、10種以上の各種センサーなどの電子デバイスを実装し、Pythonによってノート型パソコンからの制御を通じて、通信プロトコルに至るまでを学習する、いわゆるIoTデバイスの開発がテーマとなっており、比較的複雑かつ高度な内容を設定した。15回分の講義に相当する演習を通し、それらの機材を自宅や放課後等の空き時間に履修者が自律的に取り組むことが可能である。情報系学生を対象

に2020年度において課外時間における学内や自宅における自律学習の効果測定をアンケートなどによって行う計画であった。

2020年度：3月ごろからの新型コロナウイルス感染症の急速な拡大に伴い、すべての科目において遠隔授業が義務付けられたことを受け、本研究に関連して設定されていた講義も履修者の対面指導無しにオンライン化されることとなり、入構も禁止となった。そこで、完全なオンライン講義のみの授業形態での導入を検討したが、2019年度の教材はその難易度や演習量から、他の授業科目においても通常量を遥かに超える課題演習が学生に課せられる中で更なる負担を与える上、実質的指導も困難であると判断されたため、講義の運営を通して得られる学生のフィードバックを反映しながらオンライン講義で実施可能な教材の再開発を行った。その結果、本研究において演習用の機材として利用していたRaspberry Piに代わり、Microbit (Micro:bit Educational Foundation)を採用した。これは、センサーなどの電子デバイスを含む回路構築の演習をオンラインで実施するに際し、120名を超える履修者に対し、教育の質を保証するためであった。もっとも関心の高い回路構築力の養成が損なわれる懸念があったが回路作成の作業は簡易結線のみとし、Bread Boardの使用はしないこととせざるを得なかった。教科書的な教材はすべて完全オンライン授業用に再開発され、教材の内容は研究開始当初のものから大幅に簡約され、郵送等でも配布可能なもののみで構成されることとした。当該年度はこれらの教材による実施と評価のみに注力し、本来の教材を用いた実証実験は新型コロナウイルス感染症の沈静化が期待される次年度に持ち越すこととなった。これらの結果、プログラミングなどの指導はオンラインで対応可能であるものの、電子回路の実装についてはカメラ越しの遠隔指導および学生の自学自習が困難であることが顕在化してきた。

2021年度：本研究期間の最終年度に至っても2020年度に引き続き学生との接触は困難な状況が継続されたため、遠隔授業支援における問題点抽出と解決方向の議論を深化するべく研究計画を修正した。これまでの結果から、IoTに関連する演習指導における問題点を洗い出した結果、主な問題点は次の2点に絞られた。一つ目は回路構築における誤配線の修正、もう一つはソフトウェアの修正指導である。これらの2点は指導のみでなく学生の自律学習においても大きな障害であり、学習支援が強く求められる。そこで2021年度においては、誤配線の修正を支援する手法の必要性に着目し、検出における目視に依る確認を代替し、支援する方法として、AI技術を用いた画像解析によって実現する技術の開発に着手することとなった。手法の開発においては、合成画像を自動生成する技術を採用することで、機械学習における学習データを効率的に生成することも検討した。

2022年度：研究期間の延長が認められたこの年度においても、当該年度当初から約半年間は十分な対面指導や実証実験は困難であった。2021年度に開始した電子回路の誤配線に対する検出技術の開発においては、3D CG作成ソフトウェアであるBlenderを用いて合成画像を生成し、SSD (Single Shot Multibox Detector)などの物体検出技術をはじめとした機械学習技術を複数応用し、世界的に広く普及しているBread Board上の電子回路基板の配線を、その撮影画像から回路の配線推定を行うための基礎技術の開発を行った。なお、学習支援における課題として設定したソフトウェアの修正指導に関しても、並行して検討を行っていたが2022年度末になり、生成AI、特にLLM(Large Language Model)を利用したソフトウェアが急速に普及したことに伴い、対話的にAIを利用することで自律学習において一定程度の水準で解決される見通しが明るくなった。

#### 4. 研究成果

(1) 教材開発については、RaspberryPiベースモデル、Microbitベースモデル2種の教材開発を行った。研究期間中に講義で採用されたものは後者のみである。当初計画していた、教育機関構内における課外自律学習の実証実験等は新型コロナウイルス感染症の急速な拡大によって、実施に至らなかったが、教材開発の過程から、IoT教材導入における問題点は、(A) 電子回路構築における誤配線修正指導の支援自動化、(B) ソフトウェア(今回はPython)の修正指導の支援、の2点が重要な問題であることから、本研究では前者について2021年度よりAI技術を用いた誤配線検出のための基礎技術の開発を行った。はじめに、機械学習に必要な教師データ(Bread Board上の電子回路配線画像)を合

成画像として生成し、SSDによって、配線の末端を検出する技術について、プロトタイプモデルを開発し、合成画像上での配線末端の検出に成功した。この成果を、以下[1]にて報告した。

(2) 電子回路基板 (Bread Board) 上の配線の電氣的接続関係を特定することについては、SSDなどの機械学習により実現することは難しく、その理由は電線のような物体は形状が不定形であることに起因する。そこで、上記(1)の結果を受けて、配線の電氣的接続関係を特定するための技術を開発した。一つは配線の色情報をもとに、不定形の線状線路を一端から他端子へと辿り、接続関係を推定するモデルであるが、この方式では識別制度が画像中の色情報に大きく左右されるため、配線に対し、線路に沿ったアノテーションデータをもとにした機械学習のモデルにより推定精度を高める研究を継続している。これについては以下[2]にて報告を行った。

(3) 合成画像生成にBlenderとPythonのプログラムを用い、Bread Board上に配置した電子デバイスや配線のリアルな画像を自動生成することに成功した。これにより、転移学習を行うことを前提に、SSDなどの機械学習を前提とした教師データ(画像)は、これらの合成データによって事前学習を行わせることが可能となる。Bread Boardや電子デバイスのような工業製品は、その規格が明確であるため、合成画像を生成することは比較的容易である。これらの画像を用いたSSDの精度を向上させるための手法を開発した。これについては、以下[3]で報告している。

## 5. まとめ

上記4の(1)で述べた(B)については、2022年度後半から急速にサービスが普及しつつあるLLMの登場によって、大幅に解決に近づきつつある。一方、(A)については、電子回路の実装など、その物理的な要素に起因する問題を抱えているため、新たな学修支援システムの構築が急務であると思われる。これまでも、電子回路教材は世界中で多数提案されているが、普及における現実的問題や、今回研究期間内に経験した新型コロナウイルス感染症の感染拡大は、IoT技術の実習などの実物教育においては物理的要因から教育現場へ大変大きい影響を与える結果となった。実験や実習をあきらめ、データと実験の様子を収録した画像を配信し、データ整理のみを行わせる教育モデルも多く認められたが、履修者の技術力醸成には大きな損失を与えるものであったと考えられる。AI技術の導入による学修支援の視点では、プログラミングについては生成AI技術によって補填の可能性が高まってきているが、実機を用いた回路構築には本研究で取り組んだように、新たな視点でAI技術の導入を検討し、技術開発を行うことが急務であると考えられる。

## 参考資料

[1] 太田匠海, 他, 物体検出技術による電子回路教材の配線パターン推定に関する研究, 令和4年東北地区若手研究者発表会, YS-20-E10.

[2] 太田匠海, 他, 画像解析技術によるブレッドボード上の電子回路配線パターン推定に関する研究, 第21回情報科学技術フォーラム(FIT2022)

[3] 太田匠海, 他, 画像解析技術によるブレッドボード上の電子回路配線パターン推定に関する研究, 令和5年電気学会全国大会, 3-105.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 太田 匠海, 志子田 有光, 森島 佑, 鈴木 順
2. 発表標題 画像解析技術によるブレッドボード上の電子回路配線パターン推定に関する研究
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田 匠海, 志子田 有光, 森島 佑, 鈴木 順, Rocha Andreia
2. 発表標題 画像解析技術によるブレッドボード上の電子回路配線パターン推定に関する研究
3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田匠海, 鈴木 順, 森島 佑, 志子田有光
2. 発表標題 機械学習による不定形線状物体検出のための合成画像学習データ生成に関する研究
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田匠海, 鈴木友貴, 西條健太, 淡野照義, 鈴木順, 森島佑, 志子田有光
2. 発表標題 物体検出技術による電子回路教材の配線パターン推定に関する研究
3. 学会等名 令和4年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木順, 森島佑, 淡野照義, 志子田有光
2. 発表標題 データサイエンス学生の電子系実習の実態調査と教材作製に関する検討
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤袖希, 志子田有光
2. 発表標題 高等学校物理の電気分野に対する問題文解析手法の検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤袖希・志子田有光
2. 発表標題 高等学校物理問題の自動解答探索システムにおける問題文解析手法の検討
3. 学会等名 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuzuki Sato, Kouta Kanou and Arimitsu Shikoda
2. 発表標題 A study on the physical unit assignment method of terms included in physics problems for auto true or false judgement system
3. 学会等名 E-Learn 2019 (NewOrleans) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤柚希、志子田有光
2. 発表標題 物理用語を含む文章の解析手法の比較・検討
3. 学会等名 第42 回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019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	淡野 照義 (AWANO TERUYOSHI) (50176004)	東北学院大学・工学部・教授  (31302)	
研究分担者	森島 佑 (MORISHIMA YU) (40734132)	東北学院大学・工学部・講師  (31302)	
研究分担者	鈴木 順 (SUZUKI JUN) (00639255)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授  (51303)	

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
---------	---------