

IoT 社会を見据えた Arduino によるフィジカルコンピューティング 教育の導入とその実践*

宮寄 敬*¹・堀内泰輔*²・淀 優介*³

Introduction and Practice of Physical Computing Education Using Arduino for the Coming IoT Society

MIYAZAKI Takashi, HORIUCH Taisuke and YODO Yusuke

キーワード : IoT, Arduino, フィジカルコンピューティング, センサ, 教育工学

1. ま え が き

近年, インターネットが日常的に利用されるまでに発展し, 今では様々なものがインターネットに接続されて活用される IoT の時代を迎え, その基礎技術の重要性が増しつつある. これまでの情報関連の発展を振り返ると, パソコンやインターネットとともにそのハードウェアやソフトウェアの応用技術が進歩する中, 2000 年 11 月に IT 基本法(高度情報通信ネットワーク社会形成基本法)が制定された頃から, IT (Information Technology) という用語が広く使われ始めた¹⁾.

その後, 携帯機器や情報機器の利用が拡大し, 通信やインターネットがより身近に利用できる社会へと発展する中, コンピュータを中心とする人と人, 人とモノを結ぶ通信(コミュニケーション)が重要視されるようになり, ICT(Information and Communication Technology)という用語へと変わり, 活用されるようになった¹⁾. こうした ICT の動きとして, 教育現場にも積極的にパソコンやタブレットが導入され, 子どもたちの情報活用能力の育成が図られるようになった.

しかし一方で, PC やタブレットの利用が, ソフトウェアの利用方法を中心とする教育へと次第に移っていった. いわゆる PC のブラックボックス現象

である. こうした中, センサで得られる外的環境の情報を PC に取り込むことや, その情報に応じて外部の環境をアクチュエータなどの出力機器を制御できる能力を補うことが求められるようになった. その具体的な活動として, アメリカニューヨーク大学のトム・アイゴラを中心に 2004 年, 「フィジカルコンピューティング (Physical Computing)」という教育プログラムが提唱された²⁾. このようなフィジカルコンピューティング・プロジェクトが基となり, 日本でもフィジカルコンピューティング教育を実施する教育機関が増えてきている^{3)~7)}.

また, こうした動きの背景にはもう一つ, このような教育に供するマイコンボード (Arduino⁸⁾, Gainer⁹⁾, RaspberryPi¹⁰⁾, micro:bit¹¹⁾)などが開発され, 安価に手にすることができるようになったことも理由に挙げられる.

昨今, ドイツでは, 第 4 次産業革命ともいわれるインダストリ 4.0 と位置づけられた活動として, 工場のスマートファクトリー化が急速に推し進められる動きがある. 日本でも, このような動きが産業界に投げかけられ, IoT, AI およびロボットなどをキーワードとして活性化させようとする動きがある. こうした産業界の変貌を見据えた時に, その基盤になる技術として, IoT に即した技術開発が重要となってくる.

筆者らは, これからの高専生にはこうした社会変化に対応できる実践的なエンジニアの基礎教育の必要性を意識し, 教育用として生まれた Arduino に注目し, このマイコンボードをベースに各種センサやアクチュエータなどを組み入れたセットとして, 一人ひとりが実習できる教材を製作した^{12), 13)}.

* 2017 年 2 月 19 日 日本産業技術教育学会 第 32 回情報分科会研究発表会で一部を発表

*1 電気電子工学科 教授

*2 一般科 嘱託教授

*3 技術支援部第 2 班 技術専門職員

原稿受付 2019 年 5 月 27 日

本稿では、電気電子工学科4年の授業の中で、この Arduino 教材を活用したフィジカルコンピューティング教育を平成 25 年度から実施した内容について報告する。この授業の中では、知識の習得だけでなく、獲得した知識を組み合わせる複合的な製作物を生み出す知恵を巡らせること、すなわち創造性の涵養を実現することも重要であると考えた。そのため、個々のセンサやアクチュエータの使い方を学習した後に総合演習の時間を設け、さらに2年目以降では前年度の学生の製作物の動画を閲覧させることで、創造性の発揮を助長する工夫をした¹⁴⁾。また、製作後は、クラス内の学生の製作物を学生間で相互閲覧することを導入した。

2. IoT 社会を支えるマイコン教育

2-1 フィジカルコンピューティング教育

このフィジカルコンピューティングは、コンピュータがソフトウェアの利用を中心とするものに偏りがみえてきた。そこで、コンピュータ上の仮想的な世界と我々の身の回りの物理的世界とをインターフェースを通してコミュニケーションすることに注力したコンピュータ教育であり、アメリカニューヨーク大学のトム・アイゴラを中心に 2004 年に提唱されたものである²⁾。また、この教育は、技術の創造的な活用方法を求める ITP(Interactive Telecommunications Program)により、工学分野にかぎらず文学や社会科学や芸術などの分野の学生にもテクノロジーを教えることも、もう一つの目的にしている²⁾。

以前より、マイコンを活用した技術としては、組み込み技術として、企業では重要な技術となっていた。これに対して、フィジカルコンピューティングは、教育機関やその延長の趣味の世界を対象としたものであったが、今では 3D プリンタやドローンの制御用に広く使用されるまでに至っている。

2-2 Arduino プロジェクト

Arduino プロジェクトは、イタリアの M・バンチらが IDII Ivrea (インタラクション・デザイン・インスティテュート、イブレア)で開発を始めたもので⁸⁾、主に学生の教育や、エンジニアリングの専門教育を受けていないデザイナーやアーティストらにも電子回路を容易に学習でき、かつ安価に製作できることを意図して提案されたオープンソースハードウェアの一つである。こうしたオープンソースハードウェアを使った製品がたくさん作られるようになり、今では一般人を中心にしたモノづくりの発表の場と

して、Maker Faire という大々的な展示会まで開催されるようになっていく。

こうした中、筆者らは平成 24 年度より、Arduino の利便性と、1 学年で学習しているプログラミング言語の Processing に類似した Arduino IDE によるプログラミングを考慮し、本学におけるフィジカルコンピュータの教育用マイコンボードに選んだ。

3. フィジカルコンピューティング教育

3-1 教育用教材

開発した教材の写真を図 1 に示す。本教材は、マイコン Arduino とブレッドボードのセットを中心に、学習するためのセンサや出力系部品はブレッドボード上に配置し、ジャンパー線で配線して学習する。また、プログラミングは Arduino を PC に USB 接続し、PC 上で Arduino IDE を使って行う。オブジェクトプログラムは、デバッグ後に USB ポートを用いてマイコンに転送・実行される。このように本教材セットとソフト開発環境を組み込んだ PC があれば、研究室でも自宅でも容易に学習できる環境が整うのも利点に上げられる。

3-2 教材の内容

学習に使用するセンサ関係の部品には、光センサ、焦電、温度、距離、3 軸加速度の各センサおよびオンボタン型のスイッチを用意した。また、アクチュエータ関係の部品には、LED、フルカラー LED、圧電スピーカ、小型スピーカ、サーボモータ・ステッピングモータ、DCモータ、LCDパネル、LEDマトリクス、無線 Xbee とシリアル変換ボードを揃えた。

なお、無線通信および USB ケーブルによる有線

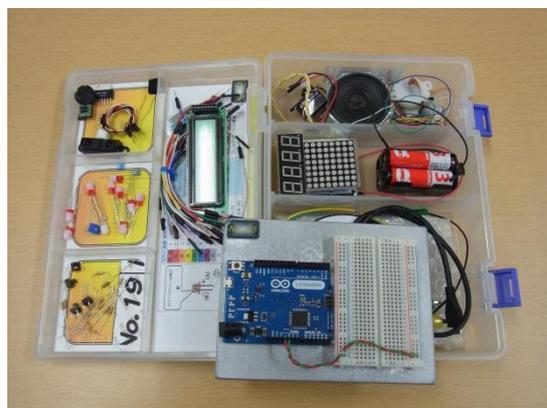


図 1 Arduino を使ったフィジカルコンピューティング教材

通信の実習では、Arduinoを2台、またはPCとArduinoを各1台ずつ使って実習する。

3-3 学習内容

この教育教材を用いた講義内容を表1に示す。基本的なセンサやアクチュエータの使い方を6週実習し、学習したセンサやアクチュエータを活用した複合型の回路を製作する総合実習を2週行うという内容で、フィジカルコンピューティング教育を行った。

4. 実践状況

今回、Arduino教材を用いたフィジカルコンピューティング教育を電気電子工学科4年の論理回路IIで実施した。情報教育センター第1端末室において、一人1セットとPC1台を使用して実習を行った。

4-1 基本実習

初めに、フィジカルコンピューティングに関すること、Arduinoの概略およびArduino LDEによるプログラミングの流れの概要を説明する。表1の基

本実習用の内容について、作成したテキストに従って学生に解説し、6週間かけて基本実習を進める。

4-2 総合実習

6週間の基本実習の中で学んだセンサや、アクチュエータの中から複数の部品を選択し、それらを組み合わせて応用的なものを考え、各自で製作することを最後の2週間で行う。ただし、時間の関係で、ブレッドボード上での製作で、実際にはんだ付け等による製作は行わない。

学生が総合演習で製作した回路を図2に掲載する。

表1 実習内容

回数	実習内容	使用するセンサ・アクチュエータ
第1週	① フィジカルコンピューティング・Arduino および Linux の概要 ② 発光素子の各種表示方法	・単色 LED ・フルカラーLED ・光センサ
第2週	① 温度センサの使い方 ② 距離センサの使い方 ③ スピーカの鳴らせ方	・温度センサ ・距離センサ ・スピーカ
第3週	① 各種モータの動かし方 ② 加速度センサの使い方	・DC モータ ・サーボモータ ・ステッピングモータ
第4週	① LCD 表示器の使い方 ② マトリックス LED の表示方法	・LCD 表示器 ・マトリックス表示器 8x8
第5週	① シリアル有線通信の方法 ② シリアル無線通信の方法 ③ スイッチセンス	・PC ・XBee
第6週	① LED の PWM による光量制御 ② 静電容量センサの製作 ③ ミニシンセサイザの製作	・単色 LED ・スピーカ
第7週	総合演習	各自で、これまでに学習した基本的なセンサや、アクチュエータなどの中から複数のものを組み合わせて製作する。過去の製作例・他の学生の製作例を見て、評価や参考にする。
第8週	総合演習	

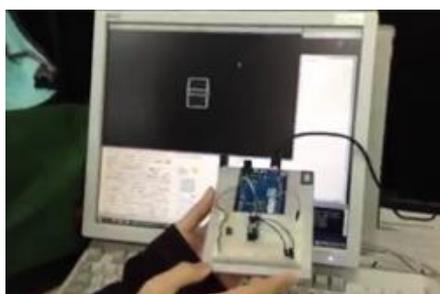
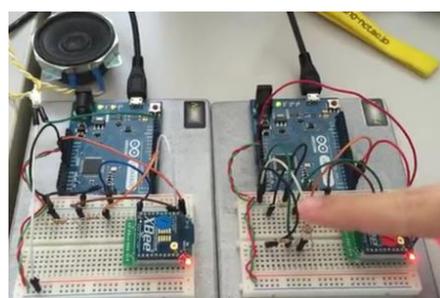
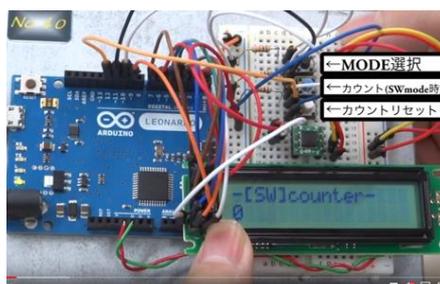
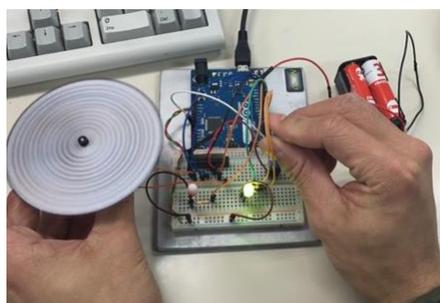


図2 総合演習の学生による製作例

図2の回路について、下記に説明する。

- ① 温度センサにより計測された温度に応じてフルカラーLEDの色が変わるとともにDCモータを回転させる。
- ② 押しボタンによりアップ・ダウンカウンタの切り替えを行い、送られたカウント信号のカウント数をLCDに表示する。
- ③ Xbeeによる無線通信で光センサの光量を送信し、光量に応じて音を変化させる。
- ④ 3D加速度センサの傾きと連動させて画面の立方体の傾斜角を変化させる。表示関係はProcessingを用いている。

4-3 学生による相互閲覧

総合実習において製作した回路の動作について、学生が相互閲覧することで、他の学生の製作物からレベルを上げる効果や、創造性の刺激を得ることが期待できると考え、製作物の動作をスマートフォンにより動画に撮り、WEBへアップロードすることとした。収集には、GoogleドライブとGoogleフォームおよびGoogle Apps Scriptを利用し、効率的に課題の収集を行った。また、GoogleドライブやGoogleフォームにより、課題の提出状況の確認や、相互評価のコメントの収集などの処理を行っている。

5. アンケート結果

今回製作したArduinoを用いたフィジカルコンピューティング教材の効果を確認するため、アンケート調査を実施した。そのうちのいくつかをここに紹介する。

(1) 実習に関する調査結果

アンケート結果を図3から図8に示す。図3と図4からは、Arduinoの実習の感想と展望として、75%以上の学生が、良好な感想を持ったことがわかる。

図5と図6からは、Arduinoのハードウェアとソフトウェアに関し、実習を通しての理解度を確認したが、ハードウェアでは75%以上の学生が理解したが、ソフトウェアに関しては55%に留まっている。これはテキストにある実習では、センサやアクチュエータの単純な動作を制御させる簡単なプログラムしか紹介していないのが原因として考えられる。

図7と図8からは、実習で使用した部品の中で興味を持ったものについて調べたが、LED制御、音を扱うテルミン、温度センサが上位を占めている。

(2) 相互閲覧に関する調査結果

学生間で製作物の動画を相互閲覧するは、いろいろな回路の知識を深めることと、創造性を育むという観点で実施している。相互閲覧に対するアンケート

結果を図9と図10に示す。97%もの学生が、良い印象を持ったことがわかる。しかしながら、動画の撮影等の操作性に関しては、25%もの学生が難しいと回答しているので、改善の必要性がある。

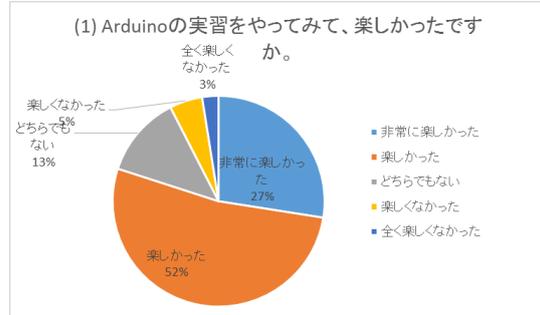


図3 実習内容の感想

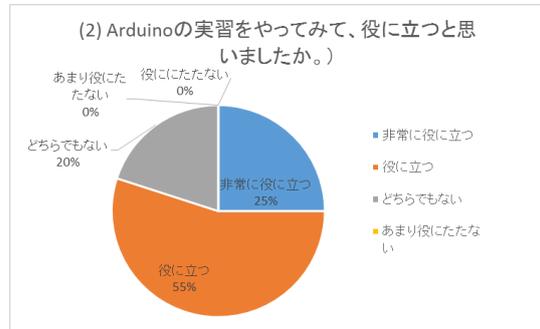


図4 実習の成果

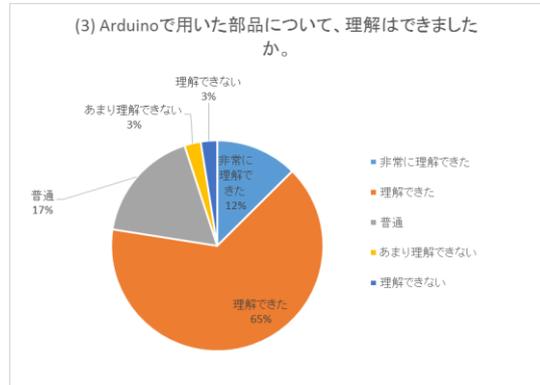


図5 ハードウェアの理解度

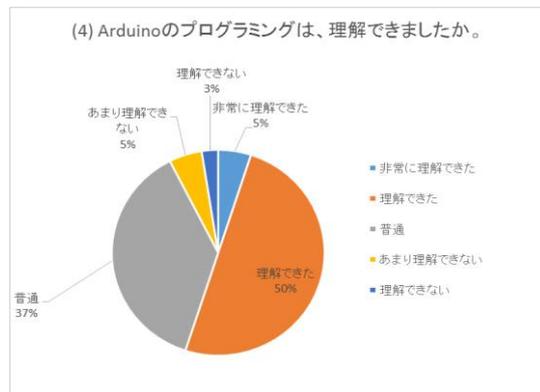


図6 ソフトウェアの理解度

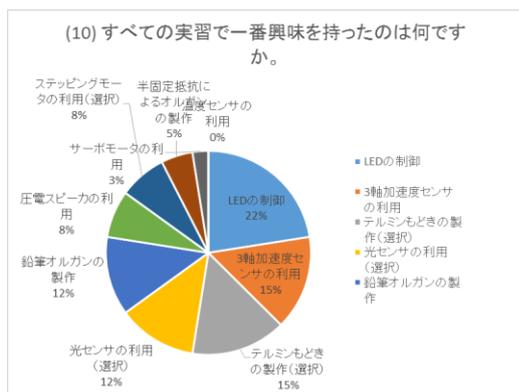


図7 実習内容の興味 (1位)

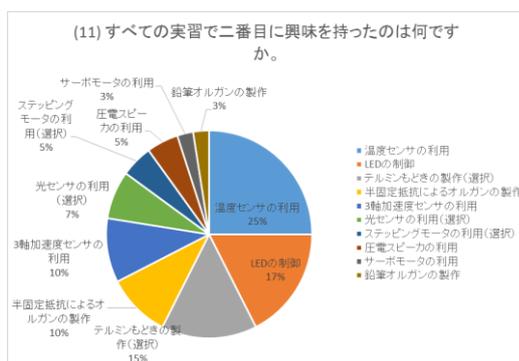


図8 実習内容の興味 (2位)

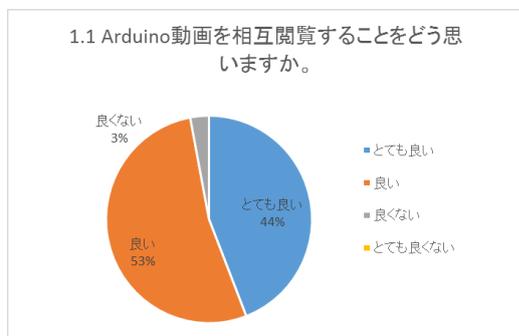


図9 相互閲覧の評価

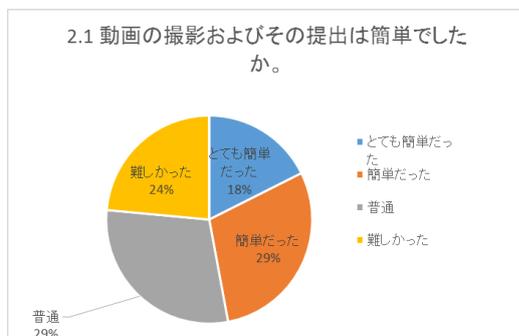


図10 動画データの処理

(3) 自由記述欄からの回答

今回のフィジカルコンピューティング教育に関して、学生から寄せられた自由記述欄からの回答の中から、以下のようなものが挙げられた。

- こういう機会が今まであまりなかったので楽しく学習することができてよかった
- 他のマイコンの用に初期設定などが無く、データシートを読んだりしたりせず動作させることができ、もっと使ってみようと思った
- 非常に楽しい実習で、プログラムの知識も身につく大変良い授業でした
- Arduinoのようなフィジカルコンピューティングの勉強は、これから必要になることだと思うし、学習する機会があるのはとてもいいことだと思うが、十分理解できた不安だ

(4) 本実習による波及効果

これまでの6年間で、このフィジカルコンピューティング教育の実施により、将来の利用として卒業研究を想定していた。筆者の研究室を例にあげると、ここで学んだものを応用した研究テーマとして下記の実施された。それらのうちで、国内外の学会での発表や、プロシーディングとして出版されたものもある。また、国際交流で来る学生の多くがマイコンの学習を望む場合が多く、計測システムを何回か課題にしたところ、満足していた。

- 一人暮らしの高齢者の安否確認システム¹⁵⁾,¹⁶⁾
- 屋内位置情報システム¹⁷⁾
- ドローンを用いた鳥獣被害防止システム¹⁸⁾
- 屋内環境計測システム
- LED照明による屋内植物栽培システム
- 屋内案内用の自走車の位置検出法

6. あとがき

6年前から、筆者らは、本格化しつつあるIoT社会への変貌を見据え、それに容易に応じられるエンジニアとして必要な教育を模索する中で、フィジカルコンピューティング教育に出会った。その目的とする内容は、まさに我々が危惧していた、PCのブラックボックス化を解決してくれる有力な手段ではないかと考え、そこから我々のプロジェクトがスタートした。

この間、教材も順次追加・改善を行いながらフィジカルコンピューティング教育を実施してきた。アンケート結果からも分かるように、その教育効果も学生には非常に良いものとして表れている。また、その効果も卒業研究のテーマに結びつき、少しずつ研究成果として結実しつつある。また、海外からく

る長・短期の留学生らにも喜ばれているのが現状である。

しかしながら、実習の内容をさらに深めたい項目がたくさんあるが、授業という限られた枠の中ではその十分な時間を確保できない状況にもある。

今後の課題として、実習内容をより精査し、効率的な教育方法を模索して時間の有効的な使い方の中で、それを実現しようと考えている。

謝辞 本研究は、日本学術振興会 科学研究費基盤 (C) No.26350356 の助成を受けて実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 朝日新聞社発行「知恵蔵 2007」のウェブ版「知恵蔵」, <https://kotobank.jp/dictionary/chiezo/>.
- 2) Dan O. Sullivan, Tom Igoe: Physical Computing, Sensing and Controlling the Physical World with Computers, Thomson Course Technology, (2004).
- 3) 難波宏司: フィジカルコンピューティングの教育教材の研究, 園田学園女子大学論文集 Vol.51, No.8 , pp.71-91, (2017).
- 4) 辻 明典, 桑折範彦, 井上 浩: フィジカルコンピューティング教材を用いた情報技術教育の実践, 徳島大学開放実践センター紀要, 第 27 巻, pp.23-30, (2018).
- 5) 大見嘉弘: フィジカルコンピューティング導入教育の取り組み, 東京情報大学研究論集 Vol.22, No.1 , pp.115-121, (2018).
- 6) 九州工業大学情報工学部, フィジカルコンピューティング実践例, <https://www.iizuka.kyutech.ac.jp/faculty/physicalcomputing>
- 7) 小山善文, 森川治雄, 山崎充裕, 堀本 博, 光澤英里, 金丸鈴美: フィジカルコンピューティングを志向した小学生を対象とするプログラミング教育の実践, PC Confernce2018, pp. 253-256, (2018).
- 8) Massimo Banzi: Getting Started with Arduino, O'Reilly Media, (2009).
- 9) 小林 茂: フィジカルコンピューティング概論, 情報処理学会誌 Vol.52, No.8 , pp.914-916, (2011).
- 10) Matt Richardson, Shawn Wallace: Getting Started with Arduino, O'Reilly Media, (2012).
- 11) micro:bit, <https://microbit.org/ja/>
- 12) 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 第 51 号 2-4, pp.1-5, (2017).
- 13) 堀内泰輔, 宮寄 敬: IoT 社会に求められる技術力と創造性を育むフィジカルコンピューティング教育の実践, 長野工業高等専門学校紀要 第 52 号 2-4, pp.1-6, (2018).
- 14) 淀優介, 宮寄敬, 堀内泰輔, 田中則幸: Processing のプログラミング学習と教育のための学生間相互閲覧コメントシステムの開発, 長野工業高等専門学校紀要第48号 2-6, pp. 1-6, (2014).
- 15) 篠原史也, 宮寄敬, 堀内泰輔, 白濱成希, 山本博章, 西正明: Arduino と PIR センサを利用した 1 人暮らし高齢者の安否確認システム, 日本産業技術教育学会第 26 回北陸支部大会講演論文集, (2014), 5.
- 16) Fumiya Shinohara, Yohei Manabe, Takashi Miyazaki, Taisuke Horiuchi, Yam Man Fu, Lloyd and Naruki Shirahama: Development of Movement Measuring System by Using Arduino and PIR Sensor, 4th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2014), 199, (2014), 127.
- 17) Naoya Muramatsu, Ooi Chun Wei, Takashi Miyazaki, Development of High Performance Filter for Indoor Positioning System, Proceedings of the 5th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2017, ICISP2017, pp.273-277, (2017).
- 18) 山岸世奉, 真鍋陽平, 宮崎敬: Arduino とマルチコプターを用いた鳥獣被害対策システムの試作, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム2018講演論文集, PR-6, pp. 65-66, (2018).