

工業教育における IoT 教育教材の開発 －電子回路学習を踏まえた製作実習の一例－

榎岡 瞭介[†] 但馬 文昭[‡]

Development of teaching materials in the field of IoT in industrial education: An example of manufacturing training works based on learning of electronic circuits

Ryosuke MAKIOKA[†] Fumiaki TAJIMA[‡]

要約

平成 30 年度告示高等学校学習指導要領解説工業編から、モノのインターネット (IoT) に関する学習内容の充実が図られた。工業科の特に電子回路等を扱う学科における IoT 教材は、情報活用・情報処理技術やプログラミング学習といったソフトウェアの内容に偏ることなく、電子回路や電子技術といったハードウェアの内容を含める必要があると考えた。また、座学で得た知識を製作実習を通して体験的に学習することができれば、理解を深めることが可能と考えた。そこで、これらを満たす内容の教材開発を試みた。これは二部構成となっており、第一部では「R-2R ラダー回路を用いた逐次比較型デジタル電圧計」を題材としてアナログ回路・デジタル回路の関係とマイコンの使用方法を学ぶことを、第二部では「無線 LAN 接続型マイコンを利用した遠隔撮影カメラ」を題材としてネットワーク技術を含むシステム全体の仕組みと電子回路の製作技術を学ぶことを目的とした。

1 はじめに

近年、IoT(Internet of Things ; モノのインターネット)という言葉が注目を集めている。IoT とは、”モノ”をインターネットに接続することを示す言葉であり、具体的な目的などがあるものではない。しかし、あらゆる”モノ”を IoT 化することでその”モノ”を遠隔で操作したり状態を取得したりすることができるようになる。そこで、”モノ”同士や”モノ”とコンピュータを接続し遠隔操作をさせたりデータのやり取りを行わせることで、自動化をはじめ

様々なことを実現可能だと考えられている。

内閣府の推進する Society5.0 に於いてもビッグデータや人工知能 (AI) などと並んで IoT が大きな柱の一つとされている [1]。それに伴い教育界においても特に情報に関する学科が中心となって産業人材育成教育が検討されており、PBL (Project Based Learning ; 問題解決学習) に基づく IoT を題材とした様々な教材が開発・利用がなされている [2]。高等学校学習指導要領解説工業編においても平成 30 年度の改定から IoT に関する内容が盛り込まれたが [3]、現在のところ実施例の報告は少ない。

情報に関する学科で用いられている IoT 教材は、IoT 機器から得た情報の処理とその活用

[†]横浜国立大学教育学研究科

[‡]横浜国立大学教育学部

といった情報処理技術とプログラミング技術の習得に焦点を当てたものが多い^[2]。しかし、工業科の特色としては情報処理技術やプログラミング技術といったソフトウェアの内容のみに傾倒することなく、電子回路・電子技術や通信技術といったハードウェアの内容についても全般的に学ぶ必要がある。

またもう一つの問題として、現在の工業科における実習は作業を行うこと自体に重点が置かれており、座学での学習内容との関わりを意識や作業している内容の理解深化は難しい傾向にある。

そこで本研究では、工業高校の電子回路などを中心とする学科での使用を想定した、座学と実習を統合的に実施することができる IoT 教材の開発を試みた。具体的には、座学で学んだデジタル回路とアナログ回路を実際に利用するとともにマイコンの使用方法を習得するための教材として R-2R ラダー型回路を用いた A/D 変換器による逐次比較型デジタル電圧計教材と、マイコンボードを用いることなくブレッドボード上に自ら回路を構築して作る遠隔カメラ教材の開発を行った。

2 逐次比較型デジタル電圧計

IoT 化する際を含め、”モノ”を制御するためには制御コントローラが必要となる。大量生産の製品化に際しては専用のコントローラ IC を作り実装する場合もあるが、実験段階や少数生産の場合は PIC や AVR といったプログラムを書き込むことで制御を自由に行うことができるマイクロコントローラ (マイコン) を使用する場合が多い。実際に工業高校では実習でマイコンを使ってライトレースカーやデジタル時計を作る実習が行われている。しかし、多くの場合実習で回路理解までさせることはなく、はんだ付けに慣れることとプログラミン

グを学ぶことが授業の目的となってしまうている。そこで、まずはマイコンの利用方法を学ぶとともに、ブラックボックス化してしまうアナログ・デジタル変換回路 (Analog to Digital Converter ; A/D 変換) やデジタル・アナログ変換回路 (Digital to Analog Converter ; D/A 変換) について学習する教材として、Arduino を用いたデジタル電圧計教材の開発を試みた。

単に電圧計を作成するだけであればすでに実践例も多くあると考えられるが、その殆どは先述のように組立作業とプログラミングに焦点をおいたものであり、生徒自身が回路を理解できるよう配慮されたものではない。本研究で開発したデジタル電圧計は工業科の科目である『電気回路』との融合的授業として実施するもので、「抵抗の接続」「電圧と電流」「電気計測」といった『電気回路』で学ぶ様々な指導内容を統合的に学習できる点で大きく異なる。マイコンではデジタル処理のみを行い、実際の A/D 変換や D/A 変換は制作する周辺回路で行う。

2.1 教材の構成

製作した教材のハードウェア構成を図 1 に示す。なお、Arduino の内部の回路は動作を簡略化して表したものである。

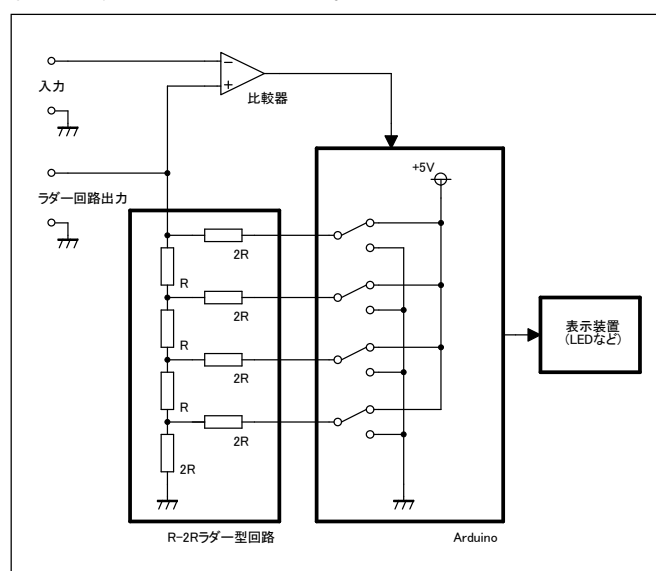


図 1 電圧計教材の回路のブロック図

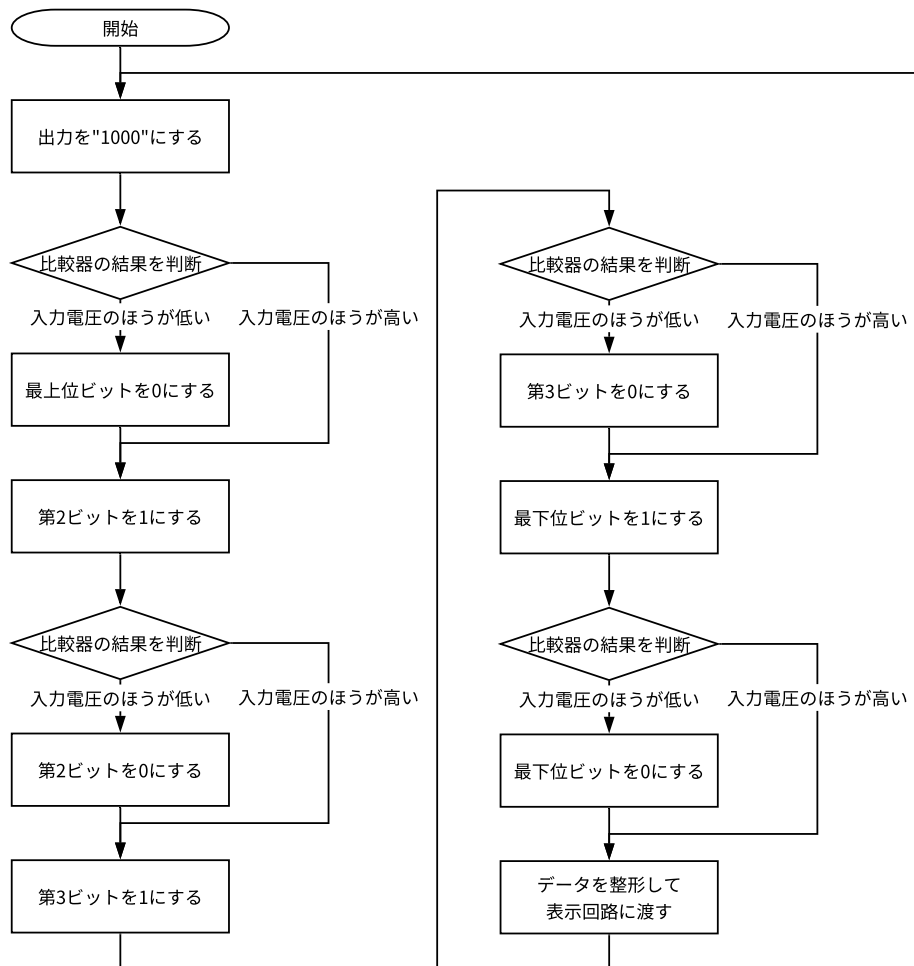


図 2 電圧計教材の動作のフローチャート

制御コンピュータには入手のしやすさ、価格の安さ、使用の容易さ、情報の多さなどから Arduino を使用した。Arduino は AVR マイコンを中心に電源回路や USB による書き込み回路などが備わっているワンボードマイコンであり、またこれに最適化された開発環境も用意されている。

R-2R ラダー型回路は、ある大きさ $R[\Omega]$ の抵抗とその 2 倍の大きさ $2R[\Omega]$ の抵抗がはしご状に接続されている、直並列回路の一種である。一見すると難解な回路だが、実際にはオームの法則で解くことが可能である。ラダー回路は Arduino の I/O ピンに接続されており、電圧を加えるかグラウンドに落とすかを Arduino で制御する。このピンには重み付けがなされており、その合計電圧により 16 段階でアナログ

値に近似される。ラダー回路の電圧と測定電圧入力端子からの電圧を比較器に入れどちらが大きいかを判断させ、その結果を Arduino に戻し処理している。

表示回路は砲弾型 LED による 2 進数表示と 7 セグメント LED による 10 進数表示の両方を用意した。これによって、2 進数と 10 進数の関係が理解しやすくなるほか、量子化誤差を視覚的に捉えることが可能になると考えている。

2.2 教材の動作

製作したプログラムのフローチャートを図 2 に示す。

まず、MSB(Most Significant Bit; 最上位ビット)に 1 を出力することで Arduino 電源電圧の $1/2$ の電圧が出力され、比較器の判断結

果を取得する。ラダー回路電圧に比べ入力電圧が高ければそのまま、低ければ MSB を 0 にして次のビットに移動する。このビットで 1 を出力すると今度は $1/4$ の電圧が出力され... という要領で次々と比較・判断を行う、逐次比較法と呼ばれる手法を採用している。

Arduino とラダー回路よりなる部分はデジタル値をアナログ値に変換する D/A 変換回路そのものであり、これに比較器を入れることで A/D 変換器として動作する。

2.3 実験と結果、考察

本回路に電圧を入力し連続的に変化させたとき、ラダー回路が出力する電圧の実測値と理論値の比較を図 3 に示す。ラダー回路の電圧は概ね理論値と一致しているのに対し、ラダー回路の電圧が変化する点の入力電圧は 3.4 V より高い電圧の領域で誤差が大きくなっている。これは、抵抗の許容誤差や接触抵抗などに起因する誤差によるものと考えられる。誤差率が一定であるとき、電圧が低い領域ではその誤差の量は僅かで無視できる程度であるのに対し、電圧が高い領域ではその誤差量は大きくなる。実際に各測定点における誤差率を求めると、3.4 V より高い領域でも概ね 1% 前後で推移している。

本教材により、A/D 変換・D/A 変換のほか、

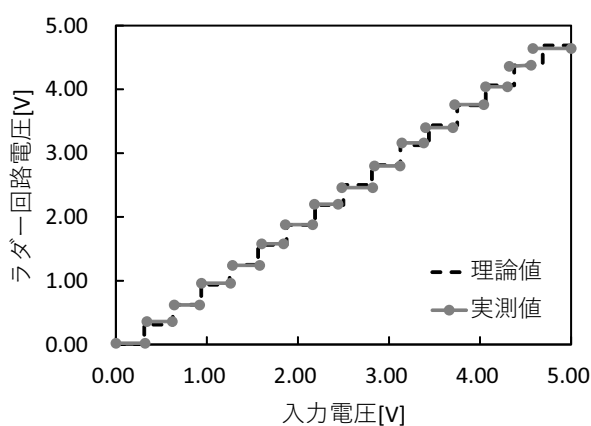


図 3 ラダー回路電圧と入力電圧の関係

量子化ステップや 2 進数との関わりについて感覚的な理解が深まることが期待される。また、基礎的なマイコンの使用方法についても学習可能であると考えられる。

3 無線 LAN 接続型マイコンを利用した遠隔撮影カメラ

マイコンの基本的な使用方法を習得したところで、マイコンとインターネットの接続を行う。電圧計教材をそのまま IoT 化することも可能であるが、デジタル電圧計で得た電圧のデータを遠隔で取得しても生徒の興味を引きつけることは難しいと考えた。また、電圧で出力するセンサーを電圧計教材に接続しても、4bit では実用的な数値を取得することが難しいことから、ここではスマートフォン等によって遠隔撮影が可能なネットワークカメラを教材化した。ネットワークカメラとは、簡単に言えば直接インターネットに接続されたカメラである。従来、映像や写真をインターネット経由で見ようとした場合、カメラとは別にコンピュータを用意しサーバを立ち上げる必要があるなど、コンピュータとインターネット・ネットワークに関する知識がある程度必要であった。対してネットワークカメラはコンピュータが内蔵されており、専門的な知識がなくてもインターネットに接続するだけで簡単に利用できる。そのため、防犯カメラやライブカメラといった業務用途の他に、例えば自宅で待っている子供やペットの様子を観察するなど、一般家庭でも利用され始めている。

ネットワークカメラは家電量販店などでも販売されており、安いものは数千円程度と入手性は高い。しかし、その構造はブラックボックス化しており、こういった回路によって構成されるようなデータの流れであるのかなどといったことはわからない。また、教材化された例も

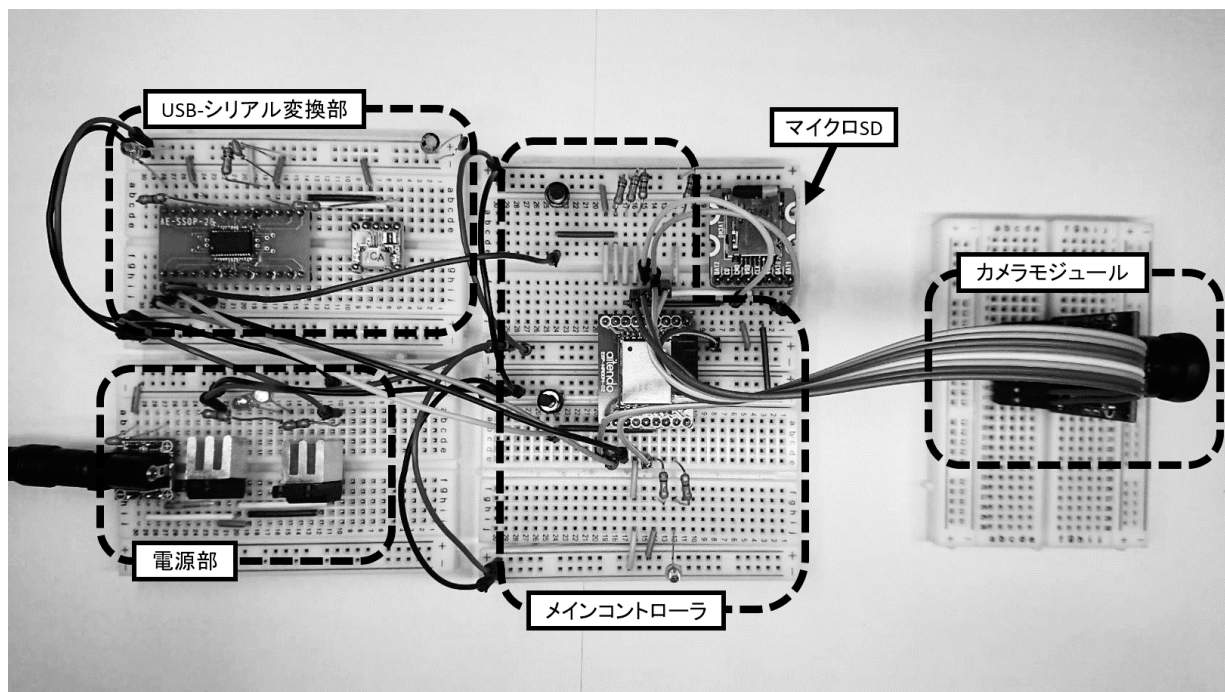


図4 製作した遠隔カメラ教材

ない。

本教材ではマイコンへの理解を更に深めるため、Arduinoのようなワンボードマイコンを使うのではなく、いわばワンボードマイコンを作るような教材とした。

3.1 教材の構成

製作した教材の写真を図4に、教材の回路のブロック図を図5に、回路図を図6に、回路示す。

無線LAN接続型マイコンやマイコンに接続可能な無線LANモジュールはいくつか発売されているが、それらを日本国内で使用するためには電波法とその関連法令に基づく工事設計

認証を取得している必要がある。今回は工事設計認証を取得しており、かつ安価で情報も多いことからESP-WROOM02を使用した。これはESP8266を搭載した無線LANモジュールで、ArduinoIDEを用いてArduinoと同様にスケッチを書き込むことができるマイコンである。ここに電源回路やUSB-シリアル変換回路を接続し、ブレッドボード上でArduino互換のマイコンボードとして動作するようになっている。

カメラはArduinoに最適化されたCMOSカメラモジュールであるArducamを用いた。ArducamとESP-WROOM02はI²Cで接続されており、I²Cシリアル通信によってカメラの制御を行っている。また、ArducamとMicroSDスロット、ESP-WROOM02はSPIで平行に接続されており、撮影した写真データはSPIシリアル通信によりマイクロSDに転送され保存される。プログラム上の設定によりESP-WROOM02の内蔵フラッシュにデータを保存することもできる。

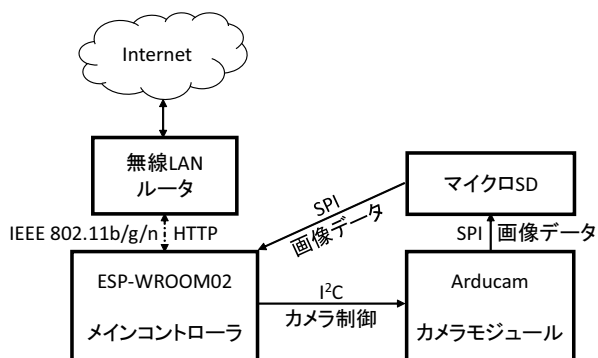


図5 遠隔カメラ教材のブロック図

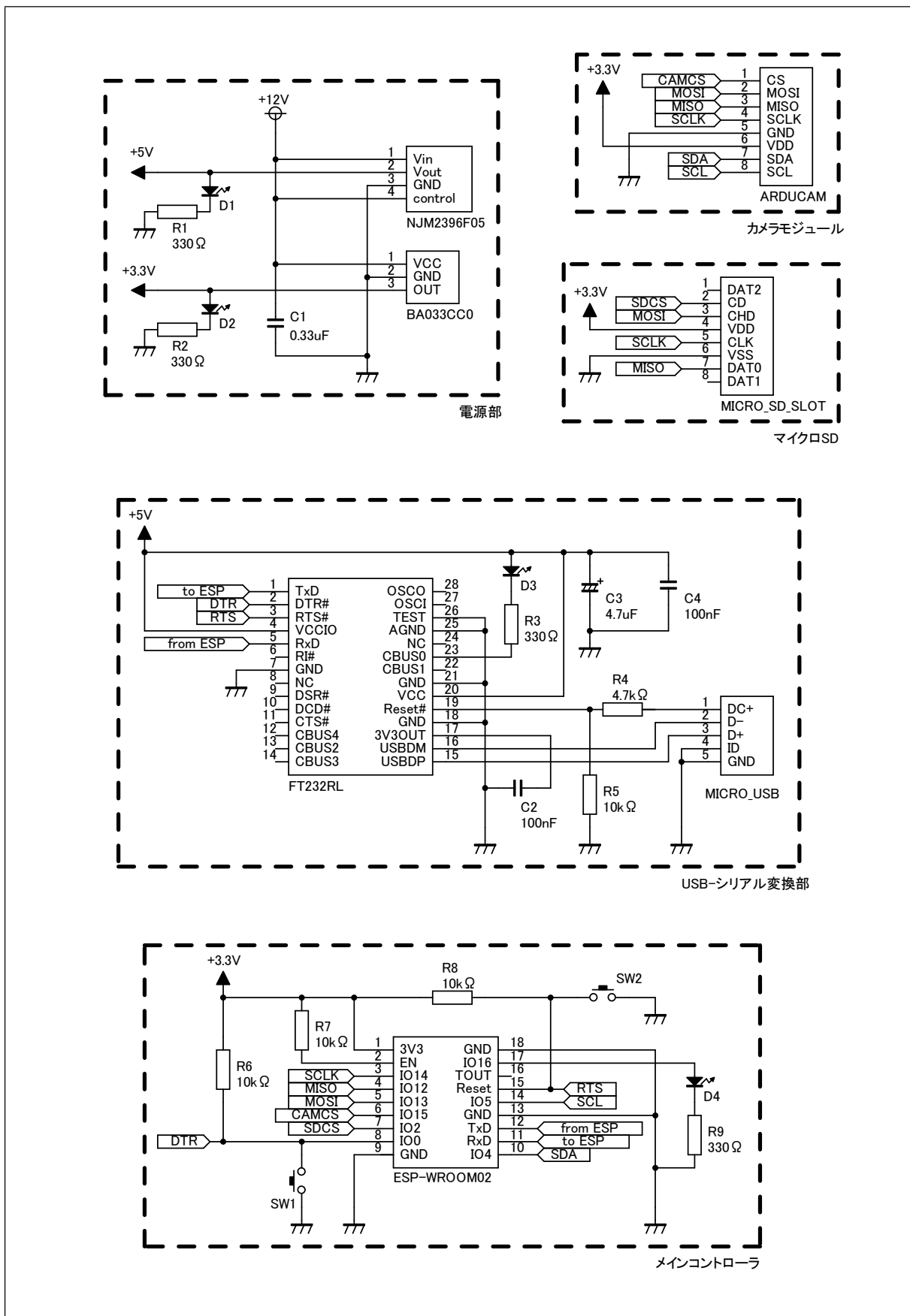


図6 無線LAN接続型マイコンを利用した遠隔撮影カメラの回路図

ESP-WROOM02 は WEB サーバとして動作させることが可能で，別途ソフトウェアを用いることなく WEB ブラウザで撮影を実行したり撮影した写真を読み出したりすることができるようになっている．一般的な WEB サーバと同等に機能するため，ポート開放と適切なルーティング設定を行えば公衆通信回線網に公開することも可能であり，実用的に使用可能である．公衆通信回線網に接続することにはセキュリティ上リスクもあるが，このセキュリティ上のリスクは VPN(Virtual Private Network：仮想専用線) などを用いることで解決できるため，本教材から情報セキュリティ等の学習へつなぐことも可能である．

3.2 教材の動作

図 7 に教材の処理のフローチャートを示す．

URI リクエストがない限りは何もしないが，URI リクエストがあったときに WEB サーバとして稼働する．撮影ボタン押下判定は HTML の POST method を用いて行う．POST Request つきで URI リクエストがあったときは写真撮影を実行してから，POST Request がないときはそのまま HTML を送信する．また，撮影した写真をマイクロ SD カードからデータを読み出し，HTML と同時に送信することで撮影した写真を WEB ブラウザで確認することができる．

このほかにも，プログラミングの工夫次第で指定した時間間隔で複数枚の写真を撮影できるインターバルカメラ機能や，過去に撮影した任意の写真を選択的に表示させる機能などを搭載することも可能であるほか，ハードウェアを拡張することで例えば人感センサーを組み込むことで人の動きを感知して自動的に撮影する機能や，照度センサーと LED を組み込んで一定以上暗い状況ではフラッシュを光らせるなどの機能などを実装することもできる．

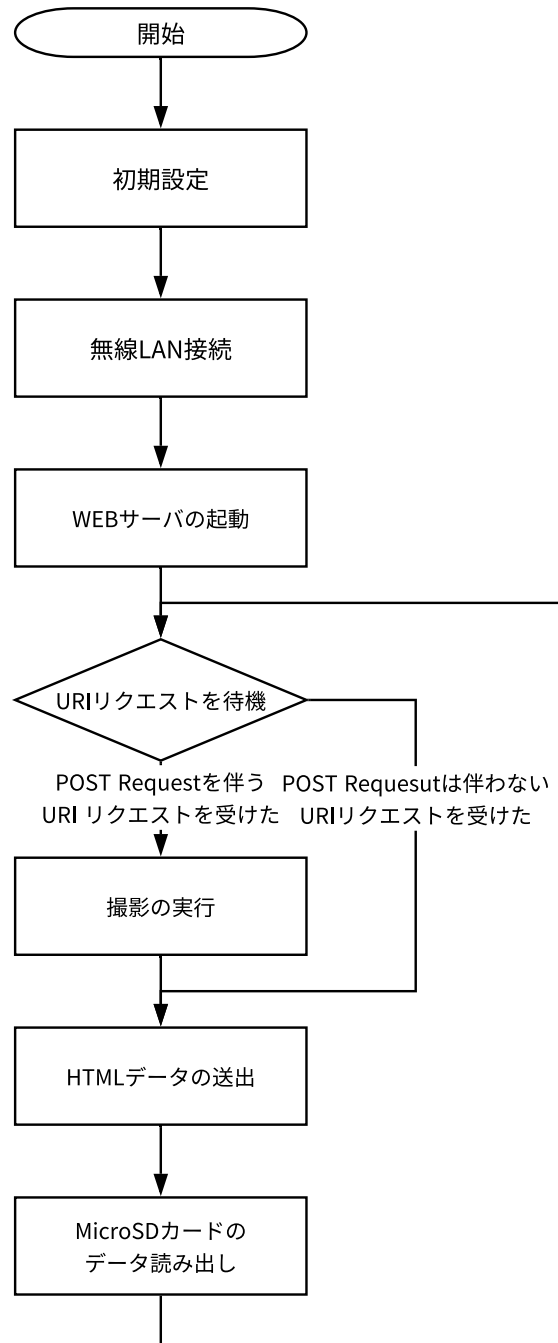


図 7 遠隔カメラ教材のフローチャート

3.3 考察

図 8 に，製作した遠隔カメラ教材で撮影した写真の例を示す．今回使用したカメラモジュールは 2 メガピクセルの解像度があり，ピント調整に少々難があるが，実用上差し支えないレベルで使用可能である．

単なる組立作業ではとどまらない実用的な回路製作・制御を行うことで，生徒は大きな達成

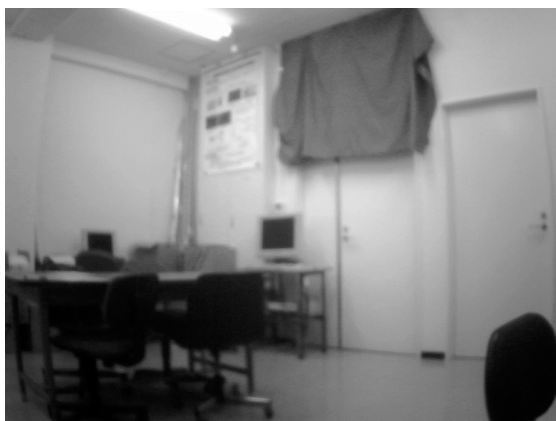


図 8 遠隔カメラ教材で撮影した写真の例

感を得て、学習意欲を高めるとともに探究心を育むことにつながると考えられる。また、より専門的な電子回路の知識を身につけることができるほか、Cを中心としてHTMLやPHPなど多様なプログラム言語を複合的に学ぶことができる。

また、先述のように、アイデアと工夫次第でソフトウェア・ハードウェアの両面から自由に機能拡張をすることができるため、生徒の思考力や表現力の育成にもつながると考えられる。

本教材は、複数の工業科目の内容を一つの主題で取り扱うことができていると言える。具体的には、「電子技術」では電子回路と通信技術に関する概要、「電子回路」では集積回路やコンデンサなど使用する電子回路素子について、「通信技術」ではシリアル通信や無線LANなどの通信方式とインターネットについて、「プログラミング技術」ではマイコンを制御するプログラム全般に関して、「ハードウェア技術」ではマイコンを中心としたコンピュータについてを本教材で取り扱うことが可能となる。

4 まとめ

工業科目を履修する生徒であれば、既存の製品を利用するだけではなく、それらの仕組みを

理解して自分の知識・技術として取り込み、新たな製品を創造できるようになっていることが期待されている。本教材は、情報活用・情報処理技術やプログラミング学習に焦点を当てたものばかりとなっている現行のIoT教材と異なり、「マイコンボードを製作する」ことを教材化することでマイコンボードの構成回路を理解するとともに、複数の工業科目をまたいだ広範囲な内容を統合的に学習することが可能となっている。教員の指示通りに作業を行うのではなく、自ら必要な機能を考えそれを実装するために工夫をこらし試行錯誤しながら学ぶことこそが学習指導要領^[3]に示された「深い学び」、またそういった態度こそが培うべき「創造性」であると私は考えており、本教材はそれらを身につけるために効果的であると考えられる。

現代社会は身の回りがモノに溢れている。本教材は、そういったモノの構造や動作について興味・関心を持ち、自らの手でも作ることができるということに気付くための一手段となることを期待している。

参考文献

- [1] 内閣府 WEB ページ「Society 5.0」, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/ 2019年9月10日閲覧
- [2] たとえば 細合 晋太郎, ほか, 「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』p40-45, 2015年
- [3] 文部科学省「高等学校学習指導要領(平成30年度告示)解説 工業編」, 2018年7月
- [4] 但馬文昭, 峯岸努, 松延秋廣, 「DA・AD変換処理過程の視覚化教具の開発と実験授業の試み」, 『科学教育研究』Vol.21 No.4 p227-233, 1997年