

ロボット工学実験用教材としての カーボン抵抗仕分け装置の開発と評価

大池 賢[†]・花田 一磨^{††}

Development and Evaluation of a Carbone Resistance Dividing Device for a Teaching Material of Robotics Engineering Experiment

Ken OIKE[†] and Kazuma HANADA^{††}

ABSTRACT

In Aomori Prefecture, where the Hachinohe Institute of Technology is located, there is a demand for the application of industrial robots to automate and save labor in industry, agriculture, fishery processing, logistics, and nursing care.

In this study, a teaching material is developed to learn about the introduction of a robotic system based on the sorting of carbon resistors. The teaching material utilizes Dobot Magician, a comparatively inexpensive robotic arm introduced in the Department of Electrical and Electronic Engineering.

As a result of evaluation the teaching material through a questionnaire survey after conduction the mock class, it is confirmed that the aims of the experiment can be achieved.

Key Words: robotics, robot arm, teaching material

キーワード: ロボット工学, ロボットアーム, 教材開発

1. はじめに

筆者が所属する八戸工業大学では2020年度より複数学科横断プログラムとなるロボット工学プログラム¹⁾が始まっており、同プログラムの開始を見すえて電気電子工学科の実験科目用に比較的安価な卓上ロボットアームであるDobot社製のDobot Magician²⁾が導入された。これを用いる実験課題には、本学が位置する青森県には工業³⁾・農業⁴⁾・水産加工業⁵⁾・物流³⁾・介護⁶⁾等における自動

化・省力化といった産業用ロボット応用の需要があるため、これらの地域課題を解決できる能力を身につけられる内容であることが求められる。そこで本研究では、まずは電気電子工学を学ぶ我々にとって身近な問題である「混ざってしまったカーボン抵抗の仕分け」を取り上げ、ロボットシステム導入の流れを体験できる実験内容・教材を開発することとした⁷⁾。

2. 使用するロボットアーム (Dobot Magician) について

使用するロボットアームはDobot社製のDobot Magician (写真1) という比較的安価な4軸ロボットアームで、吸引カップやグリッパー等のエン

令和3年12月17日受付

[†] 工学部電気電子工学科・4年

^{††} 工学部電気電子工学科・講師

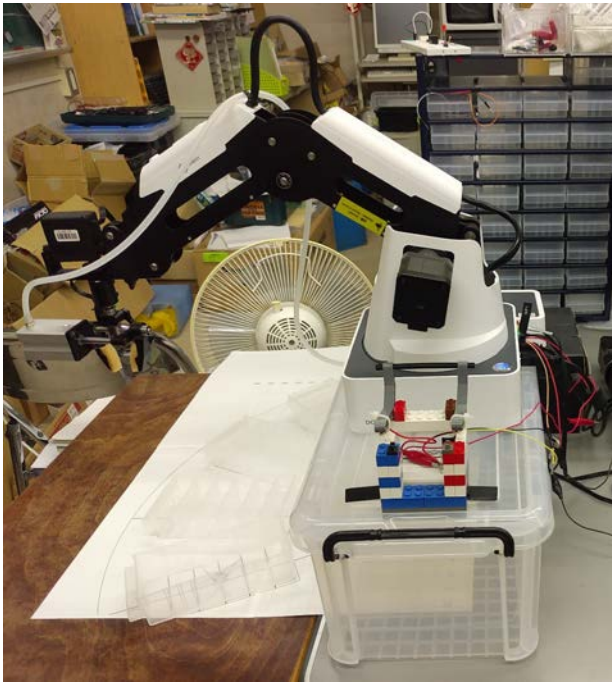


写真1 Dobot Magician

ドエフェクタを取付けることができ、ティーチング・プレイバック、ビジュアルプログラミング言語であるBlockly、テキストプログラミング言語であるpythonを使った制御等が可能である。

以下、いくつかの特徴について説明する。

2.1 操作用GUI

Dobot Magicianの操作用GUIとしてDobot Studioというソフトウェアがある（図1）。今回使用する機能は次の通りである。

(a) Teaching & Playback：アームの鍵ボタンを押しながらアームを動かし、ボタンを離すとその時のアーム座標を登録することができる（ティーチング）。その後、Dobot StudioのPlayボタンをクリックすると登録された順番にアーム位置が動く（プレイバック）（図2）。

(b) Mouse：Dobot Studioのキャンバスでマウスカーソルを動かし、それに追従させてアーム先端位置を動かす、リーダー・フォロワー制御を行うことができる（図3）。

(c) Blockly：ビジュアルプログラミング言語のBlocklyを使い制御することができる。Pythonのコードも生成できるため、おおよその処理をBlocklyで書き、Pythonに移行して複雑な処理を実行する、



図1 Dobot Studio

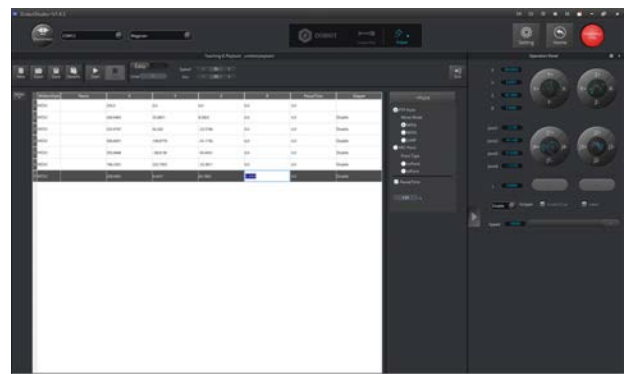


図2 Teaching & Playback

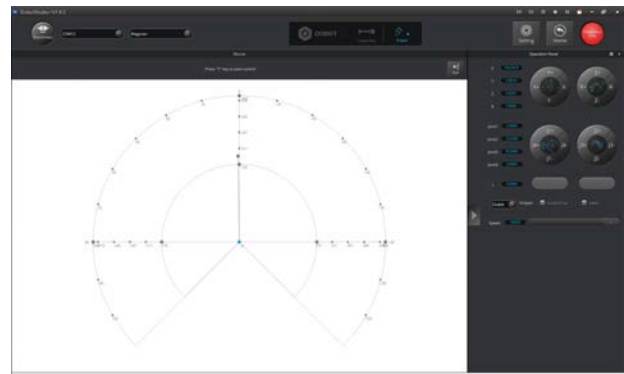


図3 Mouse

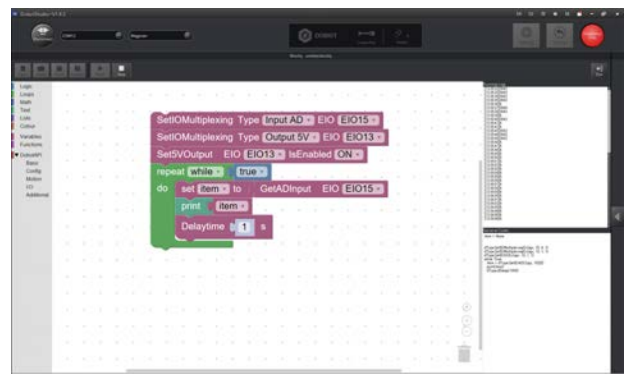


図4 Blockly

ということも可能である（図4）。

(d) Script：テキストプログラミング言語のPythonで制御することができる。

2.2 エンドエフェクタ

Dobot Magicianはアーム先端にエンドエフェクタとして次のようなツールを接続することができる。

(a) 吸引カップ：エアータンクで吸引しブロックなどのオブジェクトを吸いつけることができる。

(b) グリッパー：エアータンクで爪を開閉しオブジェクトをつまむことができる。

(c) その他：ライティング用キット、レーザー彫刻用キット、3Dプリント用キットが用意されている。

2.3 周辺機器

(a) コンベアーベルト：ステッピングモーターでベルトを動かし、ベルト上に載せたオブジェクトを運ぶことができる。

(b) その他：Dobot Studioとは別に制御用パソコンにVisual StudioとDobot Magician用のライブラリをインストールし、パソコンに接続したカメラで画像認識を行い作業させることも可能である。

2.4 周辺機器とのインターフェース⁸⁾

(1) 台座部分

Dobot Magicianの台座背面にあるインターフェースは図5のようになっている。図5中⑥は周辺機器とのインターフェースである（図6）。例えば、GP1とSW1はエアータンクに、Stepper1は3Dプリンタキットの押出機やコンベアーベルトのステッピングモーターに、GP2はカラーセンサーに接続する。また、GP2のEIO14ピンからアナログ電圧を出力したり、EIO15ピンを使ってアナログ電圧の読み込みをすることもできる。

(2) アーム部分

アーム部分にも図7のようなインターフェースが設けられており、GP3は吸引カップやグリッパーを、GP4（もしくは5）に光電センサを接続する。

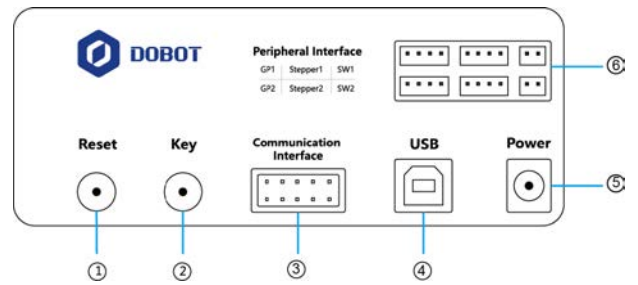


図5 台座背面のインターフェース

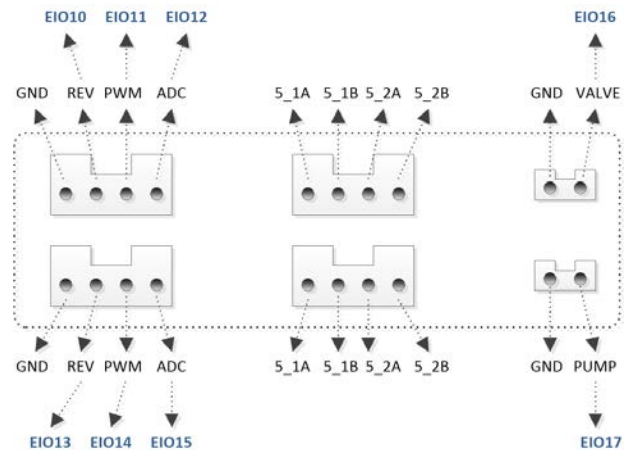


図6 周辺機器用インターフェース

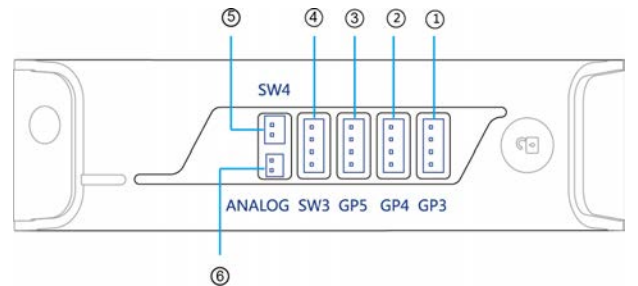


図7 アーム部分のインターフェース

3. カーボン抵抗仕分け装置の開発

3.1 作業課題の検討

電子工作の最中にカーボン抵抗が混ざってしまうと仕分けが面倒なため、ジャンクボックスに放り投げてしまうことがままあるが、これを自動で仕分けることができれば便利である。このような背景から今回は先に述べたように「混ざってしまったカーボン抵抗の仕分け」を作業課題とした。なお、仕分けの対象のカーボン抵抗の種類としては、秋月電子通商で販売し

ているカーボン抵抗のセット⁹⁾を考え、 $0\Omega \sim 2.2M\Omega$ とした（実際には後述するように整理箱の都合で $1k\Omega \sim 9.1k\Omega$ とした）。

3.2 抵抗値の判別方法について

カーボン抵抗を仕分けるには、その抵抗値を調べる必要があるが、この方法には次のようなものが考えられる。

(1) 画像認識

Dobot Magicianの他にWebカメラ等を用意し、撮影した画像からカラーコードを読み取り判別するという処理も可能であるが、実験内容の比重が情報処理技術に寄りすぎる懸念があるため今回はこの方法を採用しないこととした。

(2) オームの法則

Dobot Magicianの出力を利用して抵抗に加わる電圧と流れる電流からオームの法則を用いて未知抵抗の抵抗値を判断するのも良いが、抵抗の値が小さい場合、出力が過負荷となり測定できなくなることも考えられる。よってこの方法も採用しないこととした。

(3) 抵抗分圧

Dobot Magicianの出力を利用して既知抵抗と未知抵抗で分圧した電圧から未知抵抗の値を求める方法で、マイコンによる抵抗測定でもよく用いられる。簡単な電気回路で実現できるので、今回はこちらの方法を採用することとした。

3.3 抵抗測定回路の製作

(1) 抵抗測定回路

2.4で触れたように Dobot Magician のインターフェースには例えば EIO15 ピンのような 3.3V12bit の A/D コンバータ (ADC) がある。そこで、隣接する EIO14 ピンの 3.3V のデジタル出力を電源として分圧回路を製作しようとしたところ、デジタル出力の電圧が安定せず不都合があった。そのため、図 8 のように EIO13 ピンの 5V のデジタル出力を電源として三端子レギュレータ TA48033S で直流 3.3V に降圧し、未知抵抗 R_x と既知抵抗 R で分圧させ、この電圧を EIO15 ピンの ADC で取り込むこととした。

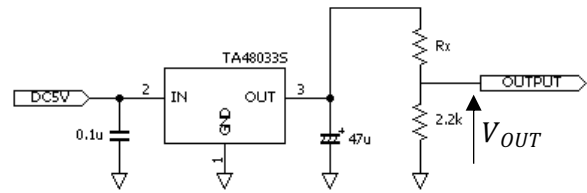


図8 抵抗測定回路

(2) 既知抵抗の値について

図 8 の回路で未知抵抗 R_x が 0Ω か 1Ω かを判別するためには、分圧電圧の差が 3.3V12bit の ADC の分解能以上であればよいので、

$$\begin{aligned} \frac{R}{0+R}V - \frac{R}{1+R}V &> \frac{V}{2^{12}} \\ \frac{R}{R} - \frac{R}{1+R} &> \frac{1}{2^{12}} \\ \frac{1}{1+R} &> \frac{1}{2^{12}} \\ \therefore R &< 4095 \end{aligned}$$

となり、既知抵抗 R は $4095[\Omega]$ 以下であればよいことになる。また、未知抵抗が $2.2M\Omega$ か $\infty\Omega$ (開放) を判別するためには

$$\begin{aligned} \frac{R}{2.2M+R}V - \frac{R}{\infty+R}V &> \frac{V}{2^{12}} \\ \frac{R}{2.2M+R} &> \frac{1}{2^{12}} \\ R &> \frac{2.2M}{2^{12}-1} = 537 \end{aligned}$$

となるので、既知抵抗 R は $537 \sim 4095[\Omega]$ とすればよい。そこで今回は既知抵抗としてこの平均値に近い $2.2k\Omega$ を採用することとした。

(3) 抵抗測定装置

図8の回路で抵抗を測定し、Dobot Magicianのグリッパーでカーボン抵抗をつまみ上げるために、写真2(a)のように、スズメッキ線を加工した端子にカーボン抵抗を載せる装置を製作した。しかし、接触面積が小さく、紙やすり等でスズメッキ線を頻繁に削らないと安定して測定することができなかった。そのため、写真2(b)のように LEGOブロックを使い、台に置いたカーボン抵抗をテスターリードで押さえつけるようにしたり、

接触面積を増やすために真鍮板を加工してカーボン抵抗を挟み込むようにもしたが、いずれも結果が芳しくなかったため、最終的にはミノムシクリップを半分に割り、その歯でカーボン抵抗を押さえつけるようにした。その結果、特に支障なく抵抗値の測定ができるようになった。

(4) 装置の配置

Dobot Magician、抵抗測定装置、抵抗の整理棚、制御用パソコンを写真3のように配置した。なお、ロボットアームの可動範囲の都合で整理棚は図9のように放射状に配置し、仕分ける対象のカーボン抵抗は1[kΩ]～9.1[kΩ]に制限することとした。

4. 実験テーマ「ロボットアームに関する実験」について

(1) 実験テキストの製作

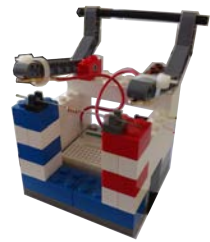
3.で製作した実験装置を使った実験テーマ「ロボットアームに関する実験」の実験テキストを製作した。抜粋したものを図10に示す。また、設定した実験課題等について以下に説明する。

(2) 実験課題

今回設定した実験課題は次の囲みの通りで、簡単な操作や座標の確認、プログラミングと抵抗測定、最後に課題となる作業を実行させる流れとしている。なお、Dobot Magicianの動作のプログラムはビジュアルプログラミング言語であるBlocklyを使うこととし、次に示すプログラム1のようなサンプルプログラム中の数値を調整させる程度にしている。これは先の3.2(1)で触れた理由による。



(a) 改良前



(b) 改良後

写真2 抵抗測定装置

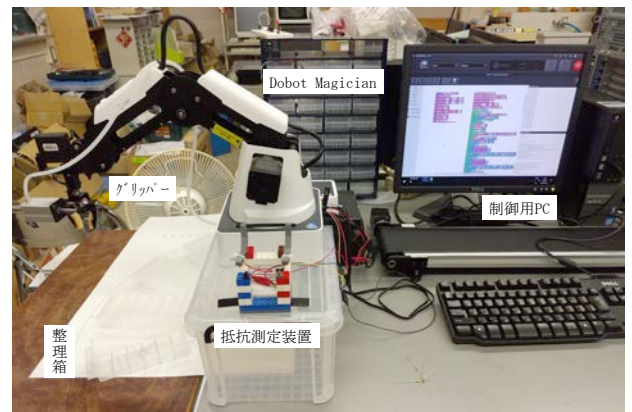


写真3 カーボン抵抗仕分け装置

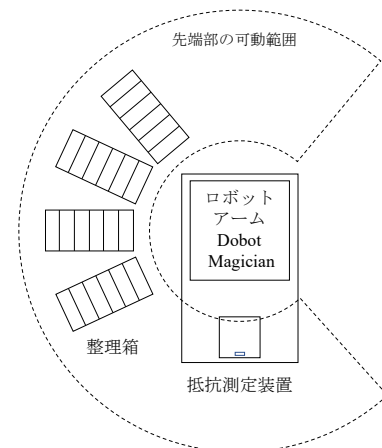


図9 実験装置の配置

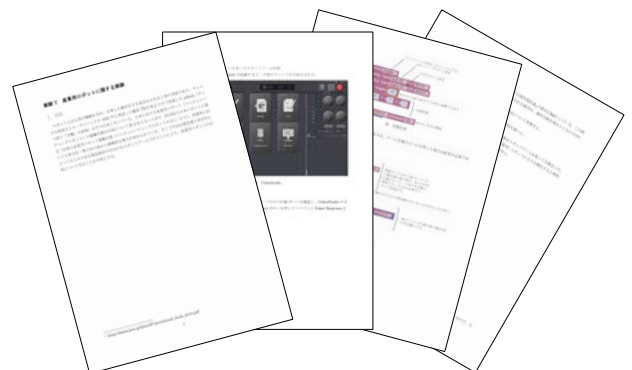
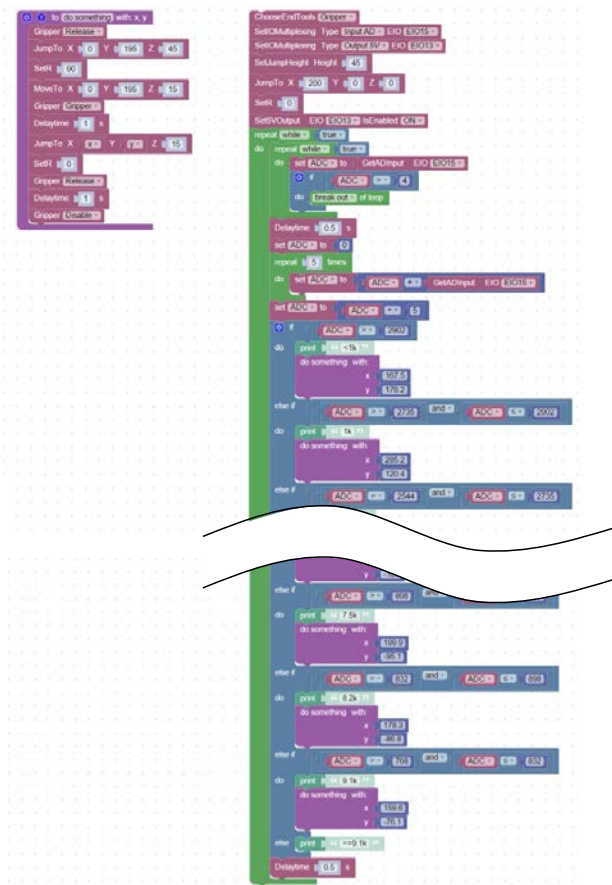


図10 実験テキスト (抜粋)

- (1) Dobot Magicianのマウス追従モードを使い、ロボットアームの動作範囲を確認せよ。
- (2) Dobot Magicianのティーチング・プレイバックモードを使い、抵抗測定器の上に置いた抵抗を任意の場所に運ぶ作業を行え。
- (3) 抵抗の仕分け作業の準備として以下を行え。
 - (3-1) Dobot Magicianのティーチング・プレイバックモードを使い、抵抗の仕分け場所の座標を確認せよ。
 - (3-2) Dobot MagicianのBlocklyモードを使い、ADコンバータによる抵抗の測定を行え。
- (4) Dobot MagicianのBlocklyモードを使い、抵抗の仕分けを行え。



プログラム1 抵抗の仕分けプログラム (抜粋)

(3) 実験結果の例

実験結果の例として、後述する模擬授業の際に得られた実験課題(3-2)及び(4)の結果を表1に示す。左から1,2列目は仕分け対象の未知抵抗のカラーコード及びデジタルテスターで測定した測定値で、3列目は図8の回路で分圧した電圧を取り込んだADCの値、4列目は課題(4)の結果で、上記プログラム1を使い正しく判別できたか、できなかったかを○と×で表している。

表1を見ると、一部の抵抗が判別ができていないことが確認できる。この改善には、①既知抵抗の誤差や、②ADCのオフセット誤差を低減させることがまず考えられる。また、「実験」として実施するのであれば、判別できる抵抗を用意する、という手段も考えられる。一方で失敗するケースを残し、改善案を考察させるのもよいと思われる。

表1 カarbon抵抗の測定及び判別結果

課題(3-2)		課題(4)	
未知抵抗[kΩ]		ADCの値	判別(※)
カラーコード	測定値		
1.0	1.01	2873	○
1.2	1.20	2703	○
1.5	1.49	2496	○
2.2	2.20	2096	○
2.4	2.40	2004	○
2.7	2.66	1895	○
3.3	3.27	1686	○
3.9	3.85	1522	○
4.7	4.66	1343	○
5.1	5.05	1266	○
5.6	5.80	1185	○
6.8	6.90	1035	○
7.5	7.50	952	○
8.2	8.26	898	×
9.1	9.20	827	○

※ ○は正しく判別できたもの、×は判別できなかったものを示す。

(4) 考察課題

今回の実験のねらいはロボットシステム導入の流れを体験しつつ地域課題を解決できる能力を身につけることであるので、考察課題としては、今回の作業課題の解決方法の検討、事例調査、身近にある自動化・省力化が可能な事項の提案ということで、下記の囲みの考察課題を設定した。

- (1) 今回の抵抗による分圧を用いた抵抗測定では既知抵抗 R の値を $2.2k\Omega$ としている。この値は適切かどうか考察せよ。適切でないと思われる場合は、適切な値を理由とともに示せ。
- (2) 抵抗測定について、今回用いた方法以外の方法について考案せよ。
- (3) 青森県内における（産業用）ロボットの活用事例を調べよ。
- (4) 今回は電子工作を行う際に生じる抵抗の仕分け作業をロボットアームを使って自動化した。この事例のように、身の回りの物事について、（産業用）ロボットにより自動化すると便利である、といった活用先を考え、その仕組みを提案せよ。

5. 模擬授業の実施結果

以上に説明した実験教材を使い、電気電子工学科4年生5名を対象に模擬授業を実施した。実施中の様子としては、ロボットアームの動作範囲を逸脱した際にホームポジションに戻したり本体の再起動が必要になるなど、エラー対応が多少面倒である他は特に実験に支障はなく、一通りの課題をこなすことができていた。また、本実験ではビジュアルプログラミング言語のBlocklyでプログラミングさせているため、プログラミング初心者の学生であっても見よう見まねでプログラムの作成を行っていた。ただ、動作の流れを理解させるために工夫が必要であると思われる。これは表2及び表3に示した模擬授業の実施後に行ったアンケート調査の集計結果

からも確認できる。

表2 実施後アンケートの集計結果①

単位：[名]

質問項目 \ 回答	よくできた	できた	できなかった あまり	できなかった
①実験前後でロボットアーム制御について理解が深まったか?	1	4	0	0
②楽しく学べたか?	2	3	0	0
③Mouseモードを使いこなせたか?	2	2	1	0
④Teaching & Playbackモードを使いこなせたか?	1	3	1	0
⑤Blocklyモードを使いこなせたか?	2	2	1	0
⑥実験で得た知識を将来役に立てられるか?	1	3	1	0

6. おわりに

電気電子工学科に導入されたロボットアームDobot Magicianを活用した実験課題「ロボットアームに関する実験」の実験内容の考案、作業課題解決のためのカーボン抵抗仕分け装置の開発、実験テキストの製作と、これらの教材を用いた模擬授業の実施及びアンケート調査による評価を行った。

模擬授業での様子や実施後アンケートの結果を見ると、実験を通してロボットを活用した自動化・省力化についての理解が深まっており、実験実施により実験のねらいを達成できるといえる。しかしながら、ロボットシステム導入の流れに関しては、カーボン抵抗の仕分けを例に実験中に説明したり、考察課題で身近な例を考えさせるものの、後者は設計までは行わないため、ロボットシステム導入に関わるシステムインテグレーターの体験としては不十分かもしれない。

今後も本教材の改善を行いつつ、学んだ知識・技術を活かすという点でも、考察したアイデアを授業時間外で実現に移す機会を設け、学生の学びの質向上や地域が求める人材の育成に努めていきたい。

表3 実施後アンケートの集計結果②

質問項目	回答
⑦今回の実験でよかった点・難しかった点・わからなかった点等がある場合それぞれ教えてください。	<ul style="list-style-type: none"> ・良かった点：未知抵抗の計測方法を理解することができた。 ・難しかった点：座標を設定しても、アームの位置がずれてしまい、値が変わること。 ・わからなかった点：プログラミングによる指示動作がどのように行われているか。 ・ロボットアームの使い方がわかりやすかった。 ・T&Pで正確な座標にもっていくことが難しかった。 ・説明がわかりやすくスムーズにできた ・DobotStudioの使い方がわかりづらい点があった（Mouse追従モードを使ったロボット制御で、エラーが出たとき（動かなくなったとき）の対処方法）
⑧今回の実験で要望があれば教えてください。	<ul style="list-style-type: none"> ・座標の固定と付箋を工夫したほうが良い。 ・実験で使用する数式などをもう少し詳しく記載したほうが良いと思った。 ・ロボットアームと座標の固定 ・ソフトウェアの使い方についてももう少し詳しく説明が欲しい。
⑨今回の実験を受けて成長した点・身につけたと思われる能力・知識について教えてください。	<ul style="list-style-type: none"> ・実際に入力した座標通りにロボットアームが動くことにより、実際にプログラミング通りに動くことが確認でき、理解を深めることができた。 ・ロボットアームについての多少の知識は得られたと思う。 ・制御ロボットをはじめて使用したため難しかった。 ・工場などでこういうのが使われていることを知り、少し理解が深まった。 ・ロボットアームを使うような実習をしたことがなかったが、今回の実験を通してロボットアームの使い方や仕組みが分かった。

参考文献

- 1) 八戸工業大学：「学科横断型プログラム」，<https://www.hit.ac.jp/department/topics/>，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 2) DOBOT：「DOBOT Magician」，<https://www.dobot.cc/dobot-magician/product-overview.html>，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 3) 青森県商工労働部地域産業課経営支援グループ：「先端設備等導入計画作成支援マニュアル」，https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/shoko/chiikisangyo/files/r1keikakusakuseisien_manual_aomoriken.pdf，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 4) 青森県：「青森県のスマート農業関連情報」，<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/nosui/kikaiboshu.html>，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 5) 復興水産加工業販路回復促進センター：「企業紹介 第109回青森県三富産業株式会社」，<https://www.fukko-hanro.jp/corporate/20190723.html>，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 6) 青森県：「介護ロボットの導入支援等について」，https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kenko/koreihoken/kaigo_robot_sien.html，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 7) 大池 賢，花田一磨：「ロボット工学実験用教材としてのカーボン抵抗仕分け装置の開発（その2）」，2021年度電気関係学会東北支部連合大会，4C06，2021/8/27，
- 8) DOBOT：「DOBOT Magician V2 User Guide v2.0」，https://www.dobot.cc/downloadcenter/dobot-magician.html?sub_cat=73#sub-download，（最終アクセス日 2021/12/6），
- 9) 秋月電子通商：「カーボン抵抗（炭素皮膜抵抗） 1／2W 全部入り（73種類0Ω付）」，<https://akizukidenshi.com/catalog/g/gR-07791>（最終アクセス日 2021/12/6）。

要 旨

八戸工業大学が位置する青森県には、工業・農業・水産加工業・物流・介護等における自動化・省力化といった産業用ロボット応用の需要がある。そこで、本研究では八戸工業大学電気電子工学科に導入された比較的安価なロボットアーム Dobot Magician を活用し、電気電子系学生にとって身近なカーボン抵抗の仕分けを題材としてロボットシステム導入について学べる教材の開発を行うとともに、模擬授業を実施した。実施後アンケート調査により教材を評価した結

果、実験のねらいが達成できることが確認できた。

キーワード: ロボット工学, ロボットアーム, 教材開発